Sistemas de transmisión y frenado

Esteban José Domínguez, Julián Ferrer

TRANSPORTE Y MANTENIMIENTO DE VEHÍCULOS

EDITEX

Sistemas de transmisión y frenado

Esteban José Domínguez - Julián Ferrer

ACCESO

Test de autoevaluación interactivos

EDITEX

ÍNDICE

1. La transmisión en los vehículos 6

1 Misión de la transmisión 8
2 Dinámica de los vehículos 8
3 La transmisión en los automóviles. 16
4 La transmisión en los vehículos industriales . . 18
5 La transmisión en los vehículos agrícolas 18
6 La transmisión en motocicletas y ciclomotores. . 19
7 Transmisiones hidráulicas. 22
8 La transmisión en los vehículos híbridos con dos motores 22
Actividades finales 24
Evalúa tus conocimientos. 25
Práctica profesional: Identificar los conjuntos mecánicos que forman la transmisión de un vehículo 4x4 26
Cambio del *kit* de transmisión de una motocicleta . 28
Mundo técnico: Inspirado en el mundo del motociclismo 32

2. Embragues y convertidores de par . . 34

1 Misión del embrague 36
2 Tipos de embragues 37
3 Principios de funcionamiento del embrague de fricción 37
4 Componentes del embrague de fricción con discos 41
5 Embrague bidisco 44
6 Embrague por conos de fricción 44
7 Embrague multidisco bañado en aceite 45
8 Accionamientos del embrague de fricción . . . 47
9 Mantenimiento del embrague de fricción . . . 52
10 Embrague hidráulico 55
11 Convertidor de par 57
12 Embrague electromagnético 63
Actividades finales 64
Evalúa tus conocimientos. 65
Práctica profesional: Sustituir el bombín de accionamiento hidráulico del embrague 66
Desmontar y verificar un embrague 67
Mundo técnico: El embrague doble en seco convence al jurado internacional. 70

3. Cajas de cambios manuales. 72

1 Misión de la caja de cambios 74
2 Relaciones de transmisión o velocidades del cambio. 75
3 Configuración de la caja de cambios. 86
4 Componentes del cambio. 98
5 Mantenimiento de las cajas de cambios manuales 105
6 Diagnóstico de averías 106
7 Desmontaje, verificación y montaje de la caja de cambios 107
8 Sensores y actuadores del cambio 109
Actividades finales 110
Evalúa tus conocimientos. 111
Práctica profesional: Desmontar una caja de cambios. 112
Mundo técnico: Caja ¿automática o manual? . . . 114

4. Cajas automáticas y variadores. . . .116

1 Caja de cambios automáticas. 118
2 Elementos constituyentes. 119
3 Cambios automáticos sin centralita electrónica. 138
4 Esquemas de transmisión de fuerza en las cajas automáticas 139
5 Funcionamiento del cambio automático ZF 5 HP 30 139
6 Cambios semiautomáticos 144
7 Variadores o cambios automáticos CVT 145
8 Cambio automatizado 148
9 Lubricación de las cajas de cambios. 152
10 Mantenimiento del cambio automático 153
11 Verificación de las cajas de cambios automáticas. 153
Actividades finales 156
Evalúa tus conocimientos. 157
Práctica profesional: Ajustar el captador multifunción F 125 con la palanca selectora 158
Leer la memoria de averías de un cambio automático empleando un equipo de diagnosis universal 159
Mundo técnico: Sistema de transmisión automática de 8 velocidades de ZF 160

5. Grupos reductores y diferenciales .162

1 El grupo reductor 164
2 El diferencial 169
3 Mantenimiento del grupo reductor y del diferencial 178
4 Diagnóstico de averías 178
5 Desmontaje, verificación y ajuste 179
Actividades finales 186
Evalúa tus conocimientos. 187
Práctica profesional: Desmontaje y reglaje de un grupo cónico de un puente trasero 188
Mundo técnico: El diferencial en la fórmula GP 2 . 192

6. La transmisión 4x4, árboles y semiárboles 194

1 Reparto de par en los vehículos 4x4. 196
2 Transmisión 4x4 en automóviles y vehículos todoterreno 198
3 Árboles de transmisión. 213
4 Juntas universales cardán. 215
5 Semiárboles de transmisión 216
6 Mantenimiento en transmisiones 4x4 218
7 Diagnóstico de averías y reparación en la transmisión 4x4. 218
Actividades finales 220
Evalúa tus conocimientos. 221

Práctica profesional: Cambiar una transmisión (semiárbol) delantera 222
Cambiar una cruceta del árbol de transmisión . . 223
Mundo técnico: Prueba de contacto: Subaru Impreza WRX STI 2011 224

7. Los frenos en los vehículos 226

1 Equipo o sistema de frenado 228
2 Dinámica del frenado 232
3 Aplicación de la fuerza de frenado, generación 237
4 Sistemas de mando o accionamiento 242
5 Circuito de frenado con fuerza auxiliar 246
Actividades finales 248
Evalúa tus conocimientos. 249
Práctica profesional: Comparación del par de frenado en un vehículo con dos discos de freno de diferente diámetro. 250
Identificación de los elementos que constituyen el freno de servicio 251
Mundo técnico: Frenado regenerativo. Permite recuperar la energía de la batería utilizando el motor eléctrico como generador . . 252

8. Elementos y piezas del sistema de freno 254

1 Freno de tambor. 256
2 Freno de disco. 265
3 Bomba de freno 275
4 Pedal de freno. 278
5 Servofreno. 279
6 Correctores de frenada del eje trasero 284
7 Canalizaciones. 287
8 Líquido de frenos 287
9 Luz de freno y testigos luminosos 289
Actividades finales 290
Evalúa tus conocimientos. 291
Práctica profesional: Identificación de los componentes del freno de servicio. 292
Comprobación del testigo de nivel de líquido de frenos 293
Desmontaje de una bomba de freno. 294
Sustitución de un latiguillo de freno. 295
Mundo técnico: Frenos cerámicos. 296

9. Mantenimiento de los frenos en vehículos ligeros 298

1 Especificaciones técnicas de los sistemas de freno. 300
2 Diagnóstico y mantenimiento del sistema de freno de un automóvil 302
3 Cuadro de diagnóstico de averías 314
4 Frenómetro, comprobación del sistema de freno. 318
Actividades finales 320
Evalúa tus conocimientos. 321
Práctica profesional: Cambio de pastillas de freno. 322
Mundo técnico: ¿Sabes detectar si los frenos están en mal estado? 324

10. Sistemas de seguridad en los frenos. 326

1 Conceptos básicos. 328
2 Sistemas de freno antibloqueo 329
3 Sistema de control de tracción sobre los frenos. 338
4 Programa electrónico de estabilidad. 340
5 Mantenimiento de los circuitos ABS/ESP. . . . 347
Actividades finales 350
Evalúa tus conocimientos. 351
Práctica profesional: Sustitución del captador de giro de rueda de un vehículo con ABS/ESP. . . 352
Comprobación del sistema de freno ABS/ESP con un equipo de diagnosis 353
Mundo técnico: Sistemas predictivos de emergencia BOSCH 358

11. Sistemas de freno en vehículos industriales y agrícolas 360

1 Sistemas de freno en vehículos industriales . 362
2 Freno continuo (larga duración) 372
3 El ABS en vehículos industriales. 377
4 Sistema electrónico de frenado EBS 379
5 Sistema de freno en vehículos agrícolas 386
Actividades finales 388
Evalúa tus conocimientos. 389
Práctica profesional: Localización de componentes en un esquema de un sistema de freno electro-neumático 390
Sustitución del filtro secador de aire comprimido de un camión 391
Mundo técnico: Permanecer en el carril. 392

12.El freno de estacionamiento 394

1 El freno de estacionamiento 396
2 Disposición del freno de estacionamiento . . 397
3 Freno de estacionamiento mecánico 400
4 Freno de estacionamiento eléctrico-electrónico con cable 401
5 Freno de estacionamiento electromecánico . 403
6 Freno de estacionamiento neumático. 409
7 Freno de estacionamiento para vehículos agrícolas 411
Actividades finales 412
Evalúa tus conocimientos. 413
Práctica profesional: Ajuste del freno de estacionamiento mecánico (sistema de disco). . 414
Ajuste del freno de estacionamiento mecánico (sistema de tambor en disco) 415
Mundo técnico: SKF presenta el freno de estacionamiento electrónico para vehículos agrícolas. . 416

→

CÓMO SE USA ESTE LIBRO

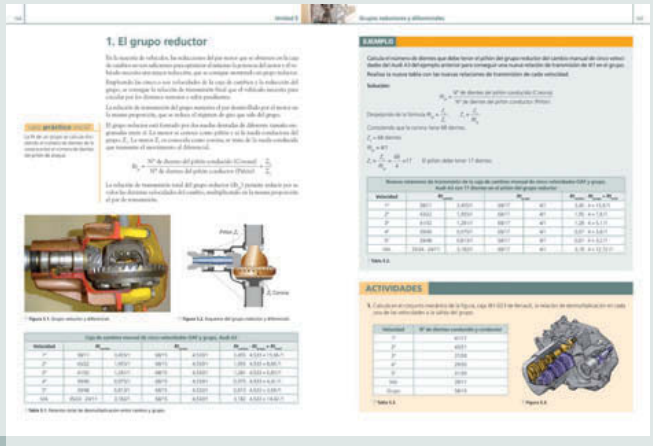
Cada unidad de este libro comienza con un **caso práctico inicial,** que plantea una situación relacionada con el ejercicio profesional y vinculado con el contenido de la unidad de trabajo. Pretende que comprendas la utilidad de lo que vas a aprender. Consta de una situación de partida y de un estudio del caso, que o bien lo resuelve o da pistas para su análisis a lo largo de la unidad.

El caso práctico inicial se convierte en **eje vertebrador de la unidad** ya que se incluirán llamadas que hagan de referencia a ese caso concreto, a lo largo del desarrollo de los contenidos.

El desarrollo de los contenidos aparece ordenado en epígrafes y subepígrafes y acompañado de numerosas ilustraciones, seleccionadas de entre los equipos y herramientas más frecuentes que te vas a encontrar al realizar tu trabajo.

En los márgenes aparecen textos que amplían los contenidos y llamadas al caso práctico inicial.

A lo largo del texto se incorporan **actividades** propuestas y **ejemplos,** con numerosas actividades planteadas y desarrolladas que ayudan a asimilar los conceptos tratados y por otra parte, a aprender a realizar ciertos cálculos teóricos necesarios para conocer el funcionamiento y las características técnicas de los sistemas de transmisión y frenado.



IMPORTANTE

Todas las actividades propuestas en este libro deben realizarse en un cuaderno de trabajo, nunca en el propio libro.

Como cierre de la unidad se proponen una serie de **actividades finales** para que apliques los conocimiento adquiridos y, a su vez, te sirvan de repaso.

El apartado **evalúa tus conocimientos** consiste en una batería de preguntas que te permitirán comprobar el nivel de conocimientos adquiridos tras el estudio de la unidad.

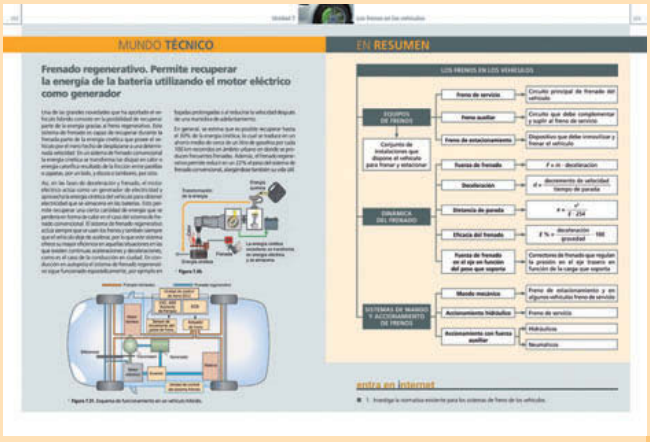
En la sección **práctica profesional** se plantea el desarrollo de un caso práctico, en el que se describen las operaciones que se realizan, se detallan las herramientas y el material necesario, y se incluyen fotografías que ilustran los pasos a seguir.

Estas prácticas profesionales representan los resultados de aprendizaje que debes alcanzar al terminar tu módulo formativo.

La sección **mundo técnico** versa sobre información técnica de este sector y vinculada a la unidad. Es importante conocer las últimas innovaciones existentes en el mercado y disponer de ejemplos en la vida real de las aplicaciones de los contenidos tratados en la unidad.

La unidad finaliza con el apartado **en resumen,** mapa conceptual con los conceptos esenciales de la unidad.

Además, se incluyen en el apartado **entra en internet** una serie de actividades para cuya resolución es necesario consultar diversas páginas web sobre componentes y equipos.



1 La transmisión en los vehículos

vamos a conocer...

1. La misión de la transmisión
2. Dinámica de los vehículos
3. La transmisión en los automóviles
4. La transmisión en los vehículos industriales
5. La transmisión en los vehículos agrícolas
6. La transmisión en motocicletas y ciclomotores
7. Transmisiones hidráulicas
8. La transmisión en los vehículos híbridos con dos motores

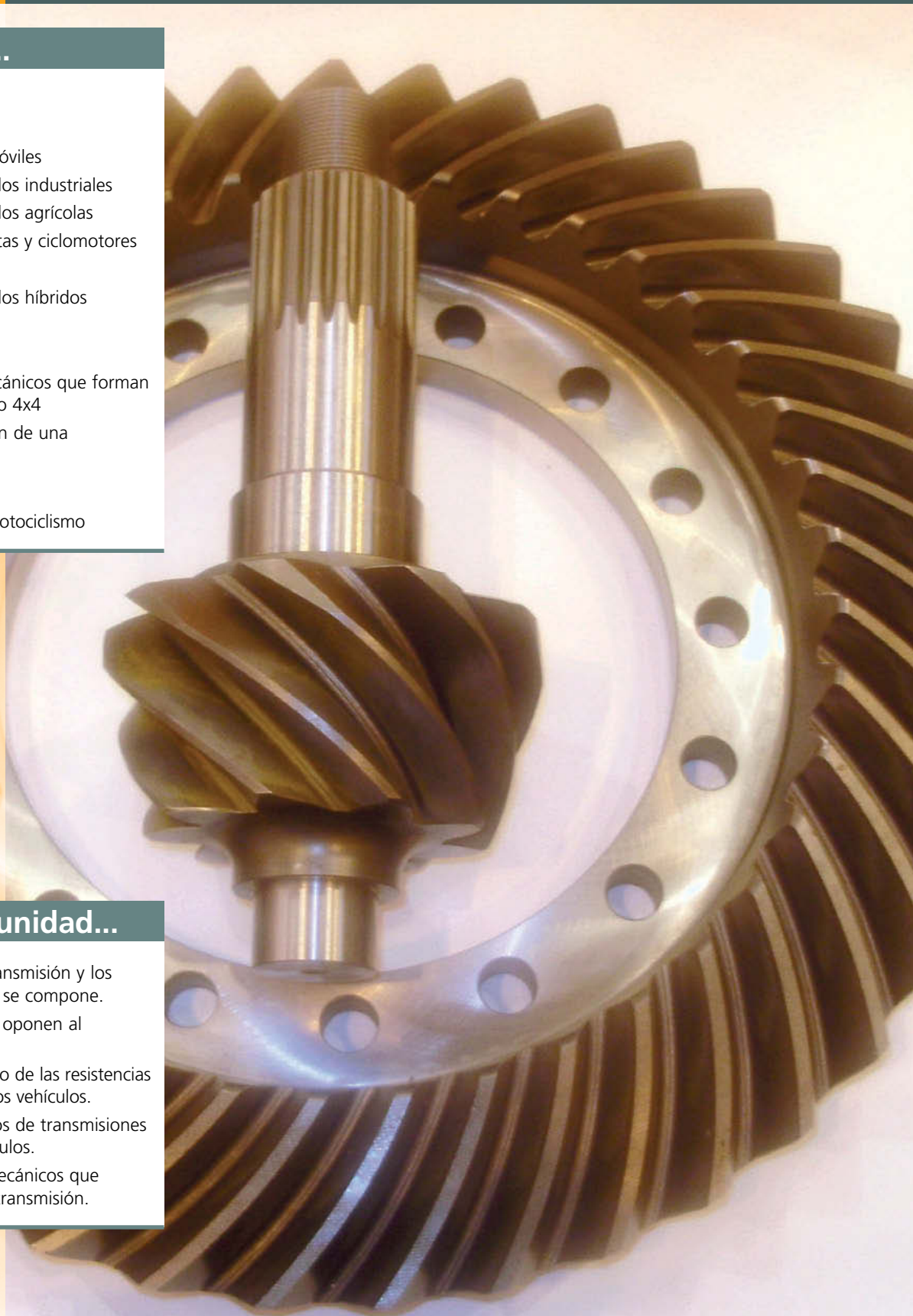
PRÁCTICA **PROFESIONAL**

Identificar los conjuntos mecánicos que forman la transmisión de un vehículo 4x4

Cambiar el *kit* de transmisión de una motocicleta

MUNDO **TÉCNICO**

Inspirado en el mundo del motociclismo



y al finalizar esta unidad...

- Conocerás la misión de la transmisión y los conjuntos mecánicos de que se compone.
- Estudiarás las fuerzas que se oponen al movimiento de los vehículos.
- Calcularás el valor aproximado de las resistencias y fuerzas en la dinámica de los vehículos.
- Conocerás los diferentes tipos de transmisiones empleadas en distintos vehículos.
- Identificarás los conjuntos mecánicos que intervienen en cada tipo de transmisión.

CASO **PRÁCTICO** INICIAL

situación de partida

Se conoce como transmisión el conjunto de órganos mecánicos que se encargan de transmitir el giro y el par del motor hasta las ruedas.

Desde la invención de los vehículos autopropulsados hasta el día de hoy se han empleado infinidad de mecanismos y dispositivos mecánicos para transmitir y optimizar la potencia del motor.

Las primeras transmisiones empleaban cadenas dentadas y piñones acoplados directamente en la salida del motor y en la rueda.

Actualmente, se utilizan embragues, convertidores de par, cambios, diferenciales y acoplamientos 4x4 gestionados electrónicamente capaces de optimizar al máximo la potencia del motor.

Los elementos mecánicos que forman parte de una transmisión elemental de un automóvil son: el embrague, la caja de cambios, el grupo reductor, el diferencial y los árboles de transmisión.

Los diseñadores de vehículos proyectan los mecanismos de transmisión según las características del vehículo, transmisiones muy robustas y resistentes en los vehículos de gran potencia, camiones, autobuses, tractores y transmisiones más aligeradas en las motocicletas y automóviles.

↑ Componentes de la transmisión 4x4 (fuente: Audi).

estudio del caso

Antes de empezar a leer esta unidad de trabajo, puedes contestar las dos primeras preguntas. Después, analiza cada punto del tema, con el objetivo de contestar al resto de las preguntas de este caso práctico.

1. ¿Qué componente de la transmisión se emplea para realizar la marcha atrás en los vehículos?
2. ¿Cómo afecta el tipo de transmisión en el diseño del vehículo?
3. ¿Qué importancia tiene la gestión electrónica en los nuevos componentes de las transmisiones?
4. ¿Crees que se puede sacar el máximo de rendimiento de un motor sin un adecuado escalonamiento del cambio?
5. ¿Qué tipo de transmisión es la más apropiada para circular por terrenos deslizantes?

1. Misión de la transmisión

recuerda

El modelo Audi Quattro fue de los pioneros en adoptar una transmisión 4x4 permanente en competición.

Se estrenó en 1981 en el rally de Montecarlo donde se proclamó vencedor.

La transmisión de los vehículos está formada por diferentes órganos mecánicos: el embrague, la caja de cambios, el grupo reductor, el diferencial, etc. (figura 1.1). **La transmisión tiene como misión principal transmitir el giro del motor hasta las ruedas, adaptando el par motor a las necesidades de conducción del vehículo.**

Cuando un vehículo se encuentra circulando, su velocidad se encuentra condicionada por el tipo de carretera, pendientes a superar, resistencia del aire, etc.

Estas condiciones repercuten en el estado de marcha del vehículo, de tal manera que el vehículo debe adaptar su potencia y su par de transmisión a las necesidades de la circulación.

La transmisión realiza las siguientes funciones:

- Acopla o desacopla el giro del motor con el cambio, función realizada por el embrague.
- Reduce o aumenta el par que entrega el motor por medio de la caja de cambios.
- Permite realizar la marcha atrás.
- Transmite el par desde la salida de la caja de cambios hasta las ruedas a través de los árboles de transmisión, diferenciales, grupos cónicos y semiárboles.

↑ **Figura 1.1.** Conjunto motor, cambio y transmisión del Audi Quattro.

2. Dinámica de los vehículos

caso **práctico** inicial

Los conjuntos mecánicos que forman la transmisión son imprescindibles en los vehículos para poder multiplicar el par del motor y vencer las resistencias que se oponen al desplazamiento normal del vehículo.

Para que un vehículo que se encuentra en reposo, inicie un movimiento y se pueda desplazar, tiene que vencer todas las fuerzas que actúan sobre él y que se oponen a su movimiento. Para superar las resistencias y las fuerzas que generan, el vehículo ha de disponer de un motor y un sistema de transmisión adaptado a su masa, coeficiente aerodinámico, resistencia a la rodadura, etc.

Las resistencias más importantes que se oponen a la transmisión de movimiento de un vehículo son las siguientes (figura 1.2):

- Resistencia a la rodadura, F_r.
- Resistencia del aire, F_a.
- Resistencia por pendiente, F_p.
- Resistencia por rozamiento mecánico, F_{rm}.
- Resistencia por inercia, F_i.

Para que el vehículo se desplace, la suma de todas las resistencias, «fuerzas frenantes», debe ser inferior a la fuerza de empuje (F_e) que proporcione el motor y transmita a los conjuntos mecánicos de la transmisión.

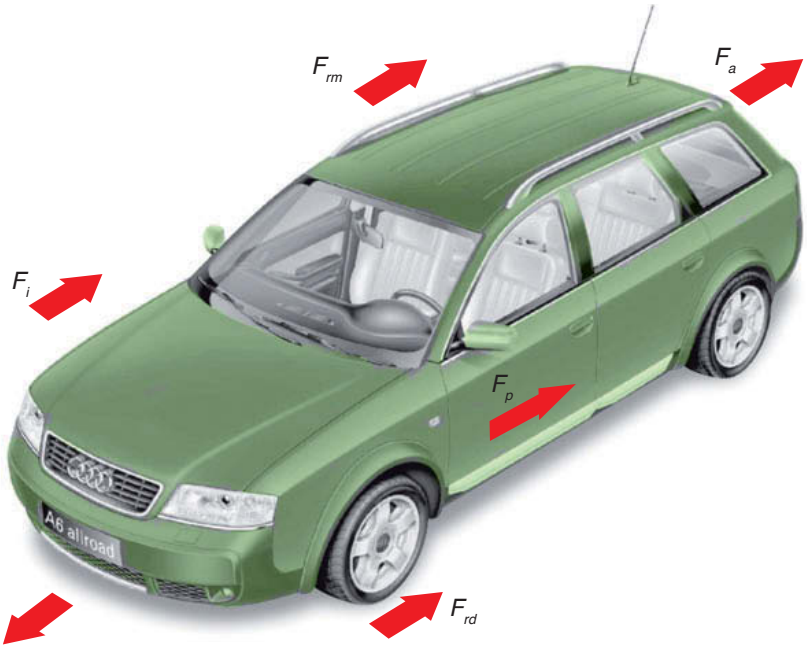
$$F_{rd} + F_a + F_p + F_{rm} + F_i < F_e$$

F_e = fuerza de empuje

La resistencia al desplazamiento del vehículo se calcula sumando todas las fuerzas que se oponen al movimiento. Esta será:

$$F_d = F_{rd} + F_a + F_p + F_{rm} + F_i$$

El resultado es una fuerza que se opone al desplazamiento del vehículo (F_d).



↑ **Figura 1.2.** Fuerzas y resistencias que afectan al vehículo en su desplazamiento.

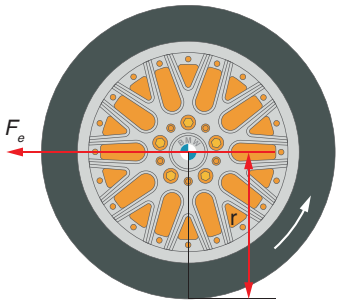
Para conseguir el desplazamiento, el vehículo tiene que generar una fuerza de empuje (F_e) en el eje motriz, mayor que la fuerza de resistencia al desplazamiento (F_d). Si estas fuerzas fuesen iguales el vehículo permanecería en reposo.

$$F_e > F_d$$

El par transmitido (C_m) es igual a la fuerza de empuje (F_e) multiplicada por el radio de la rueda motriz (figura 1.3).

$$C_m = F_e \cdot r$$

r = radio de la rueda

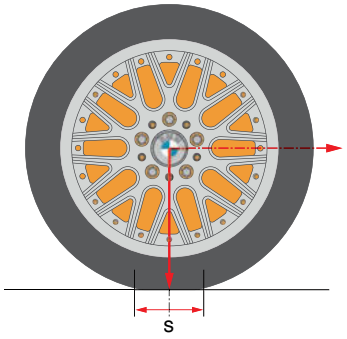


↑ **Figura 1.3.** Fuerza de empuje y radio en una rueda.

ACTIVIDADES

1. ¿Cómo crees que puede influir la resistencia del aire en el movimiento de un vehículo?

2.1. Resistencia a la rodadura



s: deformación del neumático

↑ **Figura 1.4.** Factores que intervienen en el coeficiente de rodadura (deformación del neumático).

Cuando un vehículo se pone en movimiento, se produce en él una resistencia a rodar que genera una fuerza de rodadura (F_{rd}). La fuerza de resistencia a la rodadura depende de los siguientes factores:

- Peso a soportar por la rueda.
- Tipo de terreno por el que se desplace el vehículo.
- Dimensiones del neumático.

$$F_{rd} = P \cdot \mu_r$$

P: peso del vehículo

En el coeficiente de resistencia a la rodadura (μ_r) intervienen factores como:

- El radio de la rueda.
- El peso o carga la que está sometida la rueda.
- Presión de la rueda.
- La temperatura.
- La velocidad de avance.
- La dureza y deformación de la rueda.

El coeficiente de rodadura aumenta con la carga, la velocidad y con la baja presión de los neumáticos.

Terreno	μ_r
Asfalto	0,013
Hormigón	0,013
Camino de tierra	0,05
Camino de arena	0,15

↑ **Tabla 1.1.** Coeficiente de resistencia a la rodadura de turismos (neumático nuevo).

EJEMPLO

Calcula la fuerza que supone la resistencia a la rodadura de un turismo (Seat León 1.9 TDI) que tiene de masa ± 1.300 kg y se desplaza por una carretera de asfalto. Calcula la resistencia también cuando se desplaza sobre un camino de arena.

Solución:

- En primer lugar se debe hallar el peso del vehículo. Este será:

  Peso = masa · gravedad

  $P = 1.300 \text{ kg} \cdot 9{,}8 \text{ m/s}^2 = 12.740 \text{ N}$

- Una vez hallado el peso del vehículo (P), para hallar la fuerza de la resistencia a la rodadura (F_{rd}), sustituimos los valores que conocemos, masa y coeficiente de resistencia a la rodadura, en la fórmula:

  El coeficiente de resistencia a la rodadura en asfalto es 0,013, por lo tanto:

  $F_{rd} = P \cdot \mu_r = 12.740 \text{ N} \cdot 0{,}013 = 165{,}62 \text{ N}$ en asfalto

- Para hallar la resistencia a la rodadura sobre arena de este mismo vehículo, se multiplica por su coeficiente de rodadura 0,15 (tabla 1.1):

  $F_{rd} = 12.740 \text{ N} \cdot 0{,}15 = 1.911 \text{ N}$

  Por lo tanto, podemos deducir que la fuerza que se opone al desplazamiento en la rodadura sobre arena es 11,5 veces mayor que sobre asfalto.

EJEMPLO

Calcula el par transmitido (C_m) en un vehículo que dispone de una rueda (llanta + neumático) de 19" de diámetro; conocemos que la fuerza de empuje en 1ª velocidad al eje motriz es de 3.500 N.

Solución:

- Realizaremos la conversión de pulgadas a centímetros.

  1" = 2,54 cm; por lo tanto: Ø = 19" · 2,54 cm = 48,26 cm

- El par se expresa en kg · m o daN · m, convertiremos los centímetros en metros:

  Ø = 48,26 cm : 100 = 0,4826 m, por lo tanto el radio será: 0,4826 : 2 = = 0,2413 m

- La fuerza, generalmente, se expresa en newton (N), pero en este caso, para medir el par, utilizaremos como unidad el decanewton (daN). Por ello, convertiremos los 3.500 N a daN:

  3.500 N : 10 = 350 daN

- Para hallar el par transmitido (C_m), hay que multiplicar la fuerza de empuje (F_e) por el radio de la rueda r_r:

  $C_m = F_e \cdot r_r$ = 350 daN · 0,2413 m = 84,46 daN

2.2. Resistencia del aire

Un vehículo en su desplazamiento encuentra una resistencia provocada por el choque contra el aire. Es la denominada «fuerza del aire».

$$F_a = \frac{1}{2} \cdot c_x \cdot S \cdot \rho \cdot v^2$$

Siendo:

c_x: coeficiente de resistencia aerodinámica

S: superficie frontal del vehículo

ρ: densidad del aire

v: velocidad del vehículo

La resistencia al aire depende en gran medida de la velocidad del vehículo y de la velocidad y dirección del viento.

Esta resistencia es difícil de calcular, por ello, se emplean túneles de viento (figura 1.5) que permiten conocer de manera aproximada la fuerza que el aire ejerce contra el desplazamiento del vehículo y la potencia que este necesita para vencerla (kW o CV).

Coeficiente aerodinámico	Velocidad del vehículo		
	40 km/h	80 km/h	120 km/h
0,4	<1 CV	8,5 CV	28,5 CV
0,2	0,4 CV	4 CV	13,6 CV

↑ **Tabla 1.2.** Pérdidas de potencia por la resistencia del aire según el c_x y la velocidad.

saber más

Coeficiente aerodinámico

c_x es el coeficiente aerodinámico y depende del diseño de la carrocería del vehículo. Por ejemplo: un Seat León tiene un c_x de 0,32, y el Toyota Prius, de 0,26.

↑ **Figura 1.5.** Prueba en túnel de viento del c_x de un Audi A8.

↑ **Figura 1.6.** *Kit* aerodinámico de una cabeza tractora.

En vehículos comerciales que tienen gran volumen se diseñan y montan alerones especiales para aminorar al máximo el c_x (figura 1.6).

Un alerón es capaz de provocar una fuerza de empuje del aire hacia el suelo, gracias a la diferencia de presión entre sus capas superior e inferior. La presión y en consecuencia la fuerza se produce por la diferencia de la velocidad de las partículas de aire que rodean el alerón.

En fórmula 1, la aerodinámica es fundamental para ser competitivos. En cada temporada las escuderías se emplean al máximo en el estudio y diseño de nuevos alerones y difusores (figura 1.7).

↑ **Figura 1.7.** Alerón y difusores traseros de un F 1.

ACTIVIDADES

2. ¿Puede influir la aerodinámica del vehículo en el consumo de combustible? Razona tu respuesta.

3. Busca información sobre aerodinámica y formula 1.

2.3. Resistencia por pendiente

La fuerza que origina la resistencia en un vehículo al subir una pendiente, depende del ángulo de la pendiente a superar. Al subir, parte del peso del vehículo empuja contra el sentido de la marcha y genera una fuerza que se opone a la fuerza que el vehículo dispone para desplazarse, por lo que el conductor se ve obligado a cambiar a una velocidad más corta para aumentar la fuerza de empuje.

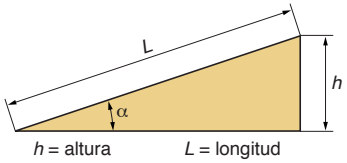
La fuerza generada al superar pendientes (F_p) depende del peso del vehículo y del ángulo de la pendiente α:

$$F_p = P \cdot \text{sen } \alpha$$

La pendiente de una carretera o camino está determinada por la relación que existe entre la altura superada y la longitud recorrida (figura 1.8).

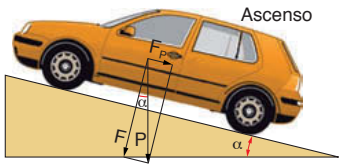
$$\text{sen } \alpha = \frac{h}{L}$$

sen $\alpha \cdot 100$ = pendiente en %



↑ **Figura 1.8.** Ángulo de una pendiente.

La fuerza que produce la masa del vehículo por la gravedad (P) la soportan principalmente los neumáticos. En los ascensos o descensos esta fuerza (P) se descompone en dos: F y F_p. La fuerza F es soportada por los neumáticos y la fuerza F_p empuja al vehículo en sentido contrario al de la marcha durante el ascenso por la pendiente (figura 1.9).



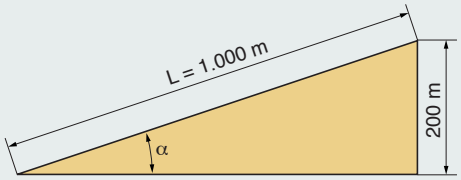
↑ **Figura 1.9.** Fuerzas que intervienen en el ascenso de una pendiente.

EJEMPLO

Calcula

1º La pendiente en porcentaje que tiene una subida que asciende 200 metros cada kilómetro.

2º La fuerza que se oponga al ascenso en un todoterreno Nissan Patrol GR de 1.835 kg de masa que intenta subir la pendiente anterior.



↑ **Figura 1.10.**

Solución:

Hallamos el porcentaje de la pendiente a través del cálculo del seno del ángulo.

$$\text{sen } \alpha = \frac{h}{L} \rightarrow \text{sen } \alpha = \frac{200 \text{ m}}{1.000 \text{ m}} = 0{,}2$$

Por lo tanto, la pendiente será:

sen $\alpha \cdot 100 = 0{,}2 \cdot 100 = 20\%$

Para averiguar la fuerza por pendiente, hallar primero el peso del vehículo (P), multiplicando la masa del mismo por la gravedad:

$P = m \cdot g$; $P = 1.835 \text{ kg} \cdot 9{,}8 \text{ m/s}^2 = 17.983 \text{ N}$

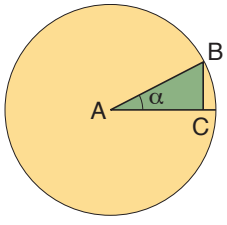
Por tanto, la fuerza por pendiente será igual a:

$F_p = P \cdot \text{sen } \alpha$; $F_p = 17.983 \text{ N} \cdot 0{,}2 = 3.596{,}6 \text{ N}$

recuerda

En un triángulo rectángulo, el seno del ángulo agudo α, es igual a la longitud del cateto opuesto al ángulo, dividido entre la longitud de la hipotenusa y se designa por sen α.

$$\text{sen } \alpha = \frac{BC}{AB}$$



↑ **Figura 1.11.**

2.4. Resistencia por rozamientos mecánicos y potencia útil en el eje

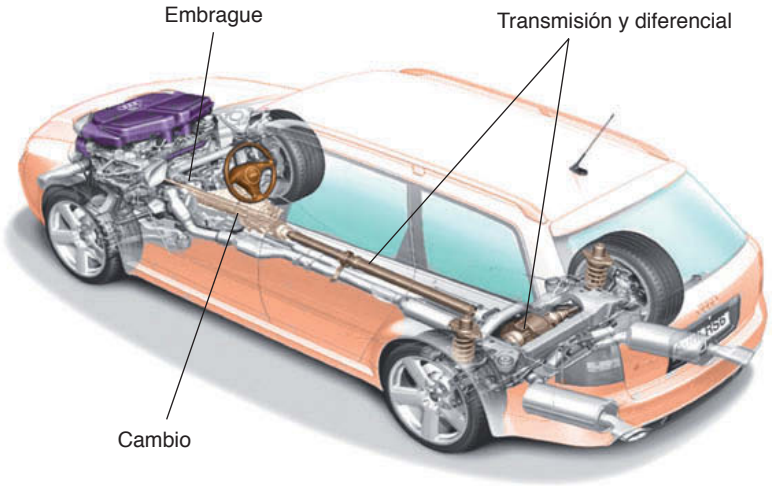
La resistencia por rozamiento mecánico se conoce también como el rendimiento mecánico de un conjunto y se genera como consecuencia de la fricción entre piezas y conjuntos mecánicos de la transmisión, en el embrague, en la caja de cambios, en el grupo diferencial y en las transmisiones (figura 1.12). Supone del orden de un 5 a un 10% de la potencia útil en un vehículo ligero de dos ruedas motrices, y del 10 al 15% en vehículos 4x4. El resto de potencia, hasta alcanzar el valor del 100%, se conoce como el rendimiento mecánico del conjunto.

Por ejemplo: un vehículo 4x4 con una resistencia por rozamientos mecánicos del 14% en la transmisión, podrá ofrecer un rendimiento mecánico (η_m) del 86%.

$$\eta_m = 100 - 14 = 86\%$$

La potencia útil en el eje motriz de un vehículo (W) es el resultado de multiplicar el rendimiento mecánico del conjunto (η_m), por la potencia aplicada en el embrague o potencia al freno (W_f).

$$W = W_f \cdot \eta_m$$



↑ **Figura 1.12.** Componentes de la transmisión de un automóvil.

recuerda

La aceleración de la gravedad es igual a 9,8 m/s^2.

EJEMPLO

Calcula la potencia útil en el eje motriz que ofrece un vehículo, con una potencia al freno (W_f) de 150 CV y unas pérdidas por rozamientos mecánicos de la transmisión del 9%.

Solución:

En primer lugar hallaremos el rendimiento mecánico μ_m:

$\mu_m = 100\% - 9\% = 91\% \rightarrow \mu_m = 0{,}91$

Así pues, la potencia útil (W) será:

$W = W_f \cdot \mu_m$

$W = 150 \text{ CV} \cdot 0{,}91 = 136{,}5 \text{ CV}$

La potencia perdida por rozamientos es aproximadamente de 13,5 CV.

2.5. Resistencia por inercia

La resistencia por inercia se produce cuando hay un cambio en la velocidad del vehículo. Se genera por una fuerza que se opone al aumento o disminución de velocidad del vehículo. Ocurre tanto en aceleraciones como en deceleraciones. Por ejemplo, al frenar un vehículo, la fuerza de la inercia sigue empujando al vehículo hasta que se detiene.

Al aumentar la velocidad, se produce una aceleración. La fuerza que genera la resistencia a la inercia (F_i) es igual a la masa del vehículo (m) por la aceleración producida (a).

$$F_i = m \cdot a$$

recuerda

La aceleración es igual al incremento de velocidad partido por el tiempo que dura la aceleración.

$$a = \frac{\Delta v}{t}$$

↑ **Figura 1.13.** Impulsión de un vehículo en miniatura.

EJEMPLOS

■ **Calcula la fuerza de inercia que se opone al desplazamiento de un Seat León que tiene de masa 1.377 kg y que realiza una aceleración de 0,41 m/s².**

Solución:

$F_i = m \cdot a$

$F_i = 1.377 \text{ kg} \cdot 0{,}41 \text{ m/s}^2 = 564{,}54 \text{ N}$

■ **Calcula la aceleración que se produce al incrementar su velocidad 15 km/h en 10 segundos.**

Solución:

En primer lugar, se deben pasar los kilómetros por hora a metros por segundo.

$$v = \frac{15 \text{ km} \cdot 1.000 \text{ m}}{3.600 \text{ s}} = \frac{150 \text{ m}}{36 \text{ s}} = 4{,}16 \text{ m/s}$$

la aceleración será igual a:

$$a = \frac{\Delta v}{t} = \frac{4{,}16 \text{ m/s}}{10 \text{ s}} = 0{,}41 \text{m/s}^2$$

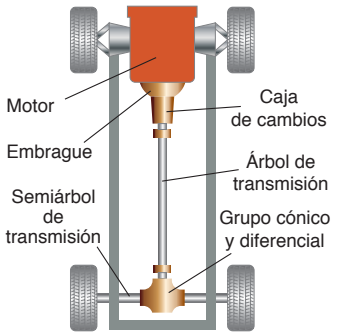
3. La transmisión en los automóviles

El tipo de transmisión que tiene un automóvil depende de dos factores: el primero y principal, es la posición del motor, el segundo factor es el eje o ejes propulsores o motrices.

Si el eje delantero es el que recibe la transmisión, se denomina «tracción delantera», mientras que si es el eje trasero, se denomina «propulsión o tracción trasera». Si los dos ejes son motrices opcionalmente, o fijos, el vehículo se denomina de «propulsión o tracción total», o lo que comúnmente llamamos 4x4.

Las combinaciones entre motor y ejes motrices configurarán el tipo de transmisión.

Los componentes de la transmisión para las distintas configuraciones, tracción delantera, propulsión trasera o 4x4, son muy similares y emplean los mismos principios de funcionamiento, a pesar de emplear diseños distintos.

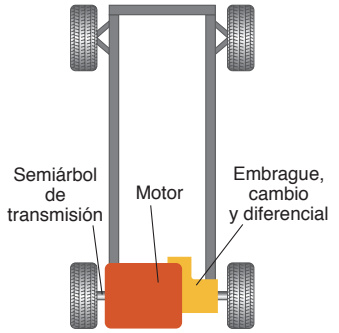


↑ **Figura 1.14.** Motor delantero longitudinal y propulsión trasera.

3.1. Motor delantero y propulsión trasera

La configuración de transmisión más empleada durante mucho tiempo ha sido motor delantero longitudinal y propulsión trasera (figura 1.14). La cadena cinemática sigue el movimiento desde el motor pasando por el embrague, caja de cambios, árbol de transmisión, grupo cónico y diferencial, y palieres o semiárboles de transmisión, hasta llegar a las ruedas.

Ejemplos de este sistema de transmisión son: el clásico Seat 131, BMW series 3,5 y 7, Mercedes Benz Clase C, etc.

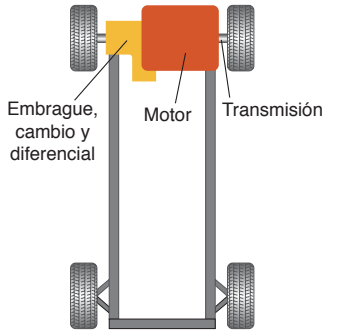


↑ **Figura 1.15.** Motor trasero y propulsión trasera.

3.2. Motor trasero y propulsión trasera

Este sistema de tracción ha sido empleado desde los utilitarios más sencillos como el Seat 600, Seat 850, Renault 8, hasta vehículos deportivos como el Ferrari 308, Porsche, Boxter, etc. (figura 1.15).

La posición del motor puede ser longitudinal o transversal y la cadena cinemática de transmisión de movimiento se realiza desde el motor pasando por el embrague, caja de cambios y diferencial, que forman un conjunto, y los árboles de transmisión.

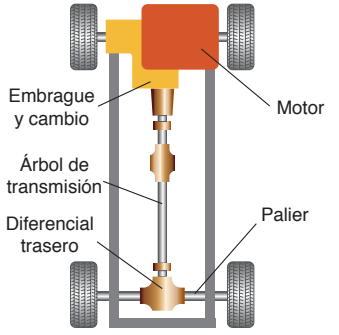


↑ **Figura 1.16.** Motor delantero y tracción delantera.

3.3. Motor delantero y tracción delantera

Motor delantero y tracción delantera es una configuración que se utiliza en automóviles de mediana cilindrada. Elimina elementos mecánicos como el árbol de transmisión y permite agrupar la caja de cambios, el grupo cónico y el diferencial.

En esta configuración el motor puede ser montado en posición longitudinal o transversal. El motor transversal se monta en la mayoría de automóviles de pequeña cilindrada. El motor longitudinal se emplea en modelos de gama media, como, por ejemplo, el Audi (figura 1.16).



↑ **Figura 1.17.** Tracción total.

3.4. Motor delantero o trasero y tracción total o 4x4

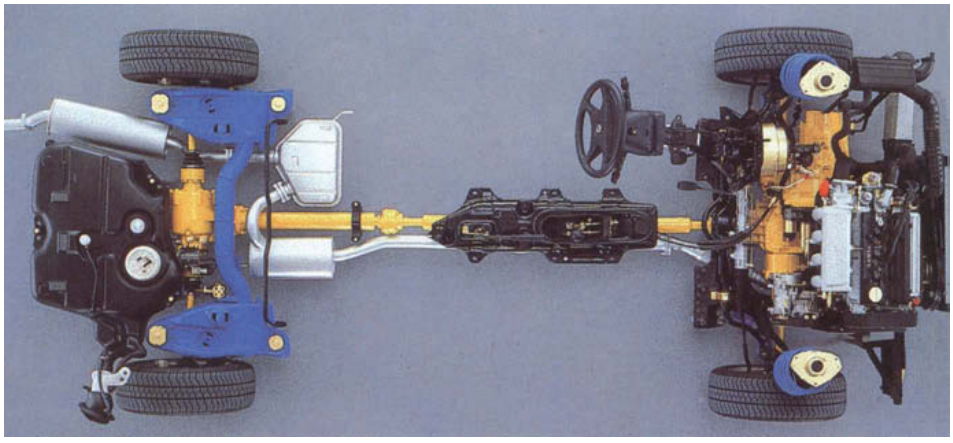
La tracción total o a las cuatro ruedas (4x4) es capaz de repartir el par de giro del motor a las cuatro ruedas (figura 1.17). Soluciona los inconvenientes de la tracción delantera y de la propulsión trasera repartiendo por igual o en diferentes proporciones el porcentaje de transmisión entre ejes.

↑ **Figura 1.18.** Porsche Boxter con motor trasero y propulsión trasera.

Todos los vehículos que emplean la tracción 4x4 o total, no emplean el mismo diseño de transmisión. Los sistemas de transmisión 4x4 más empleados son los siguientes:

- **Tracción 4x4 permanente.** El vehículo siempre tiene acoplada la tracción a las cuatro ruedas, disponen de un diferencial central repartidor y el reparto de par por ejes es fijo. Estos diseños de tracción se emplea en los modelos Audi Quattro, Mercedes 4Matic, Lancia Integrale, etc.
- **Tracción 4x2 y 4x4 acoplable manualmente.** Esta configuración se emplea en vehículos todoterreno pequeños como el Suzuki Vitara, el conductor acopla y desacopla la transmisión 4x4, no disponen de diferencial central y el reparto de par en los dos ejes es fijo.
- **Tracción 4x4 acoplable con gestión electrónica.** El vehículo dispone de un dispositivo acoplador-repartidor gestionado electrónicamente, BMW emplea el acoplador-repartidor tipo X-Drive, Volkswagen en los modelos 4mottion el acoplamiento Halldex. El dispositivo permite un reparto de par entre ejes variable y controlado electrónicamente.

Los vehículos con tracción total pueden montar el motor tanto en la parte delantera como en la central, y la cadena de transmisión desde este es la siguiente: embrague, cambio, caja de reenvío, árboles de transmisión o conjuntos cardán, diferenciales central, delantero y trasero y semiárboles.



↑ **Figura 1.19.** Transmisión integral 4x4 de Lancia.

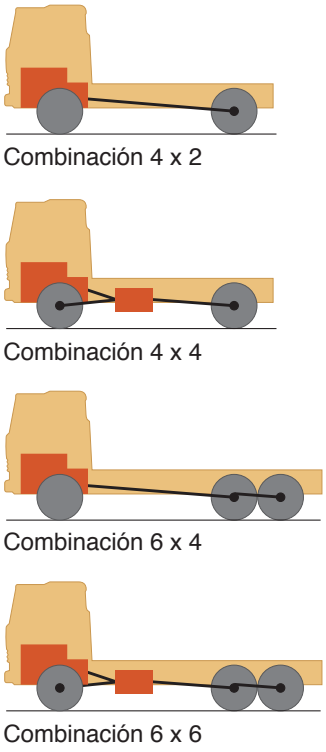
saber más

La tracción delantera en los automóviles fue inventada por André Citroën en el año 1934. André fue el fundador de la compañía automovilística Citroën del grupo francés PSA.

caso práctico inicial

Los dispositivos de acoplamiento 4x4 gestionados electrónicamente son muy sofisticados y permiten un reparto de par entre ejes que mejoran la seguridad de los vehículos.

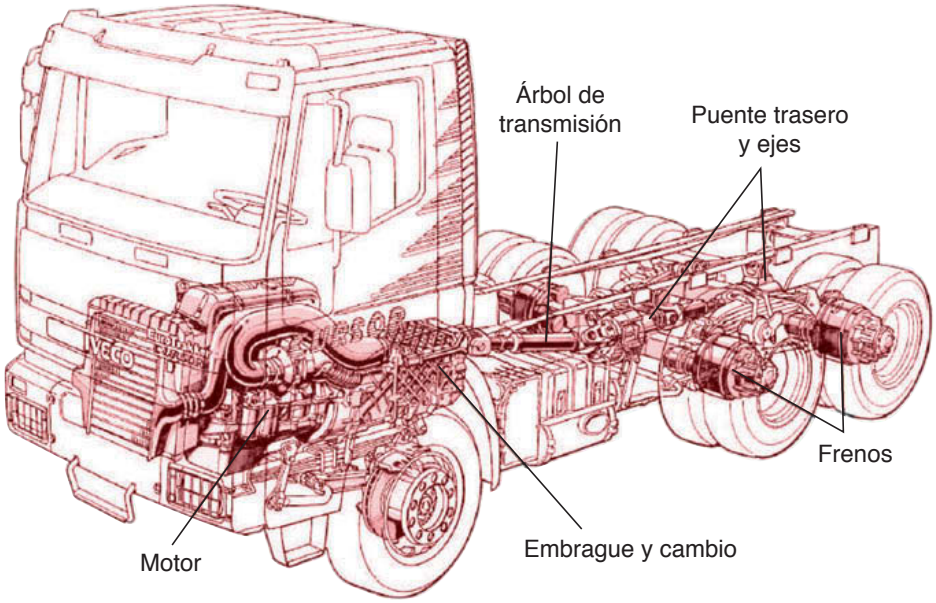
4. La transmisión en los vehículos industriales



↑ **Figura 1.20.** Transmisión en camiones.

En vehículos industriales como, por ejemplo, los camiones, se identifica el tipo de transmisión por números; por ejemplo: 4x2, 4x4, 6x2, 6x4, 6x6, etc. El primer número indica el número de ejes multiplicado por dos, y el segundo número hace referencia a las ruedas motrices (figura 1.20).

La cadena cinemática es muy parecida a la del resto de vehículos pero con la particularidad de una mayor robustez y un considerable mayor tamaño, y la forman: motor, embrague, cambio, árbol de transmisión y puente trasero (diferencial, grupo cónico y palieres) (figura 1.21).



↑ **Figura 1.21.** Cadena cinemática 6x4.

5. La transmisión en los vehículos agrícolas

↑ **Figura 1.22.** Tractor oruga.

Los vehículos agrícolas emplean generalmente dos ruedas motrices 4x2. El eje trasero es motriz y tiene mayores dimensiones que el delantero que tiene la misión de guiar el vehículo.

Existen también vehículos agrícolas e industriales denominados «orugas» (figura 1.22). En estos vehículos, se sustituyen las ruedas por cadenas que combinan la transmisión y dirección.

Actualmente, y con la incorporación de motores más potentes, se están imponiendo los vehículos agrícolas 4x4, que poseen la mejor tracción en cualquier tipo de terreno.

La transmisión 4x4 utilizada en los vehículos agrícolas es similar a la empleada en los automóviles y camiones. Los vehículos agrícolas no emplean árbol de transmisión para el eje trasero, el árbol de transmisión se emplea para transmitir el

par al eje delantero. Los componentes de la transmisión, caja de cambios y grupo cónico, forman el chasis del vehículo (figura 1.24).

La cadena cinemática de los vehículos agrícolas 4x2 está formada por el embrague de fricción o multidiscos bañados en aceite, cambio, conjunto de grupo cónico con diferencial y los semiárboles y trenes epicicloidales reductores.

↑ **Figura 1.24.** Transmisión 4x4 de un tractor agrícola.

saber más

En la mayoría de tractores modernos, en los semiárboles traseros se montan trenes epicicloidales reductores que permiten colocar los dispositivos de frenado.

↑ **Figura 1.23.** Tren epicicloidal reductor.

6. La transmisión en motocicletas y ciclomotores

En motocicletas y ciclomotores es necesaria una transmisión ligera, que permita un fácil montaje y desmontaje y poco mantenimiento.

En la mayoría de motocicletas, el motor, el embrague y la caja de cambios forman un conjunto y en la transmisión, desde la salida de la caja de cambios hasta la rueda motriz, se emplean piñones y cadena.

6.1. La transmisión en motocicletas

El diseño de las motocicletas sitúa el motor entre las dos ruedas y la propulsión en la rueda trasera. El poco espacio disponible obliga a formar un conjunto mecánico con el motor, el embrague y la caja de cambios (figura 1.25).

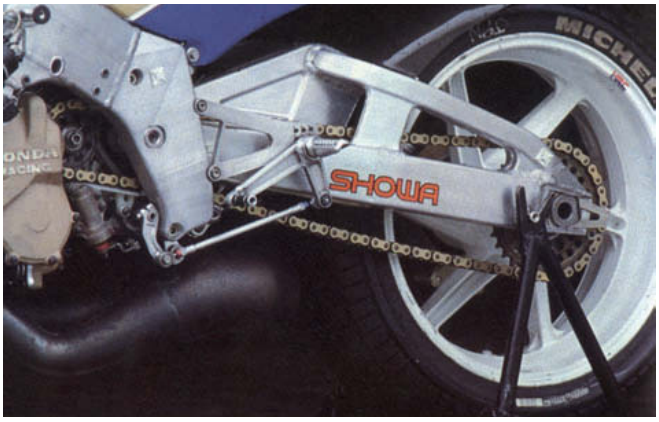
En la edición 2004 del París-Dakar, un prototipo de motocicleta de tracción a las dos ruedas se impuso en varias etapas. Esta disponía de una transmisión por cadena a la rueda trasera y una transmisión hidráulica unida a un motor hidráulico acoplado en el eje delantero.

La transmisión más empleada en motocicletas se realiza con un piñón en la salida del cambio y la rueda motriz, la unión entre los piñones se realiza con una cadena (figura 1.26).

↑ **Figura 1.25.** Conjunto motor embrague y cambio de una motocicleta.

En algunos modelos de motocicletas se sustituye la cadena por una correa dentada, lo que ofrece una mayor suavidad y menor mantenimiento. Esta transmisión la usa el fabricante americano Harley Davidson en sus motocicletas (figura 1.27). Este sistema de transmisión es similar al empleado en la distribución de muchos motores.

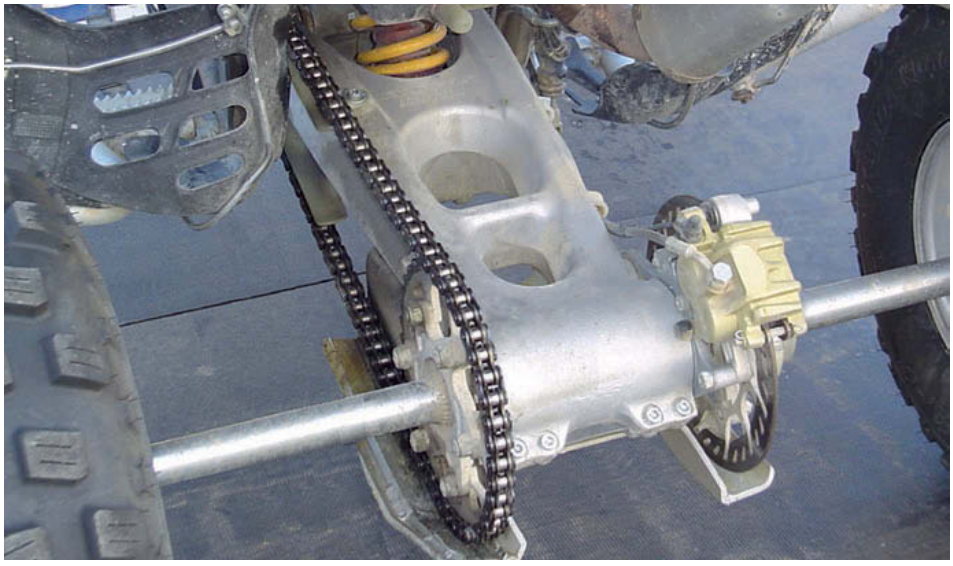
La transmisión con cadena necesita lubricación con aceite especial para cadenas, en cambio no es necesario lubricar la transmisión con correa dentada, ya que el aceite ataca la correa y la destruye, por ello, los fabricantes emplean protectores para proteger la correa (figura 1.27).



↑ **Figura 1.26.** Transmisión con cadena.

↑ **Figura 1.27.** Transmisión con correa dentada y protector.

En los quart o motos de cuatro ruedas, la transmisión del par desde la salida del cambio a las ruedas traseras se realiza con cadena dentada, estos modelos especiales no suelen montar diferencial (figura 1.28).

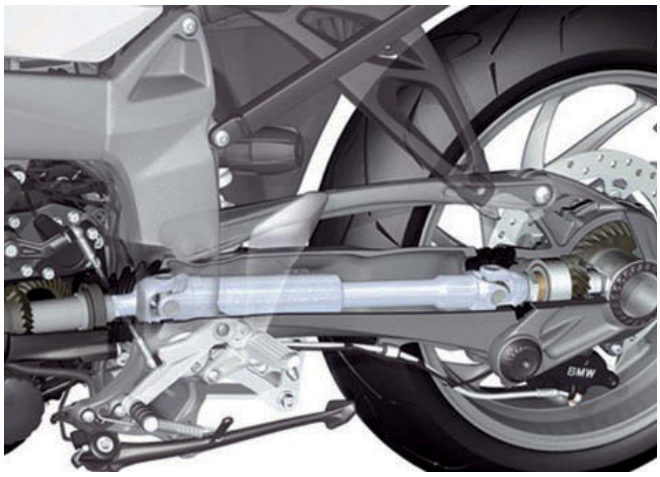


↑ **Figura 1.28.** Transmisión de quart.

En motocicletas de altas prestaciones, como por ejemplo BMW, se emplea un tipo de transmisión formado por árbol de transmisión con dos juntas cardán y un grupo cónico formado por un piñón y una corona, todo el conjunto es conocido como transmisión «Paralever» (figura 1.29 y 1.30).

Este mecanismo es más costoso, sofisticado y complejo que la sencilla transmisión por piñones y cadena, con la ventaja de resultar más fiable y duradero.

↑ **Figura 1.29.** Transmisión Paralever de BMW.



↑ **Figura 1.30.** Árbol de transmisión, cardan y grupo cónico.

6.2. La transmisión en ciclomotores y scooter

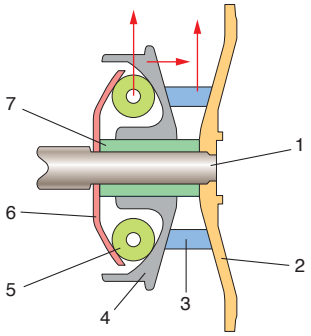
Los ciclomotores y scooter están diseñados pensando en la comodidad y el fácil acceso del conductor. Por ello, el motor es desplazado a la parte trasera o inferior. La transmisión en estos modelos se realiza con un variador y un embrague centrífugo con zapatas y una correa trapezoidal (figura 1.31).

El variador dispone de dos semipoleas de garganta variable unidas por una correa trapezoidal, una semipolea se une al cigüeñal (figura 1.32) y la otra semipolea se une al eje de transmisión de la rueda que también dispone del embrague centrífugo de zapatas (figura.1.33). El funcionamiento del variador es el siguiente: el motor transmite el movimiento desde el cigüeñal a la semipolea o plato fijo (pieza 2) (figura 1.32) que se encuentra abierta, diámetro mínimo, a su vez la otra pieza del variador colocada en la rueda, se encuentra cerrada, diámetro máximo. Al acelerar el motor, los rodillos 5 de la figura 1.32 se desplazan y cierran la garganta de la polea modificando el diámetro del variador, a su vez el plato móvil 5 de la garganta de la pieza trasera (figura 1.33) se abre, para poder mantener el equilibrio en el variador, el giro es transmitido a la maza del embrague 8 a las zapatas 7 y a la campana 2 que está solidaria con el eje de la rueda 1.

recuerda

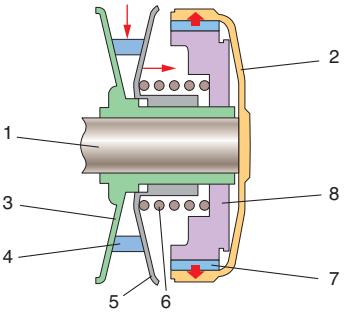
Un variador dispone de dos poleas con gargantas desplazables que permite modificar el diámetro de cada polea, las poleas se encuentran unidas por una correa, como la correa tiene una distancia fija, cuando una polea se cierra y aumenta su diámetro en la otra polea el diámetro debe disminuir en la misma proporción.

↑ **Figura 1.31.** Embrague, variador y correa.



1. Eje que está unido al cigüeñal
2. Semipolea o plato fijo
3. Correa de transmisión
4. Plato móvil
5. Rodillos
6. Plato de rampas
7. Casquillo para el deslizamiento

↑ **Figura 1.32.** Variador eje motor.



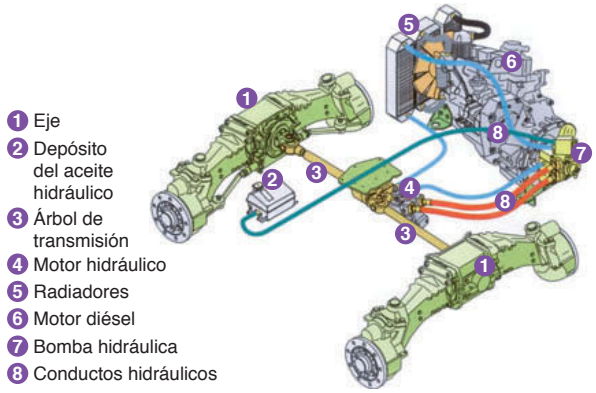
1. Eje que transmite el movimiento
2. Campana de embrague
3. Plato fijo
4. Correa de transmisión
5. Plato móvil
6. Muelles de abrir y cerrar el plato
7. Zapatas de freno
8. Maza de embrague

↑ **Figura 1.33.** Variador y embrague eje rueda.

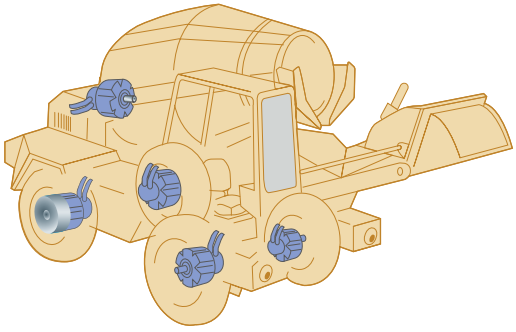
7. Transmisiones hidráulicas

Las transmisiones hidráulicas, por su gran versatilidad, se emplean en vehículos especiales dedicados a la construcción, como miniescabadoras, telescópicos, etc. El sistema de transmisión hidráulica permite colocar el motor de combustión en cualquier lugar del vehículo y conducir las canalizaciones de aceite hasta los motores hidráulicos. El funcionamiento básico de la transmisión hidráulica es el siguiente:

El motor de combustión mueve la bomba hidráulica, el caudal de la bomba es canalizado por los latiguillos hasta los motores hidráulicos, la gestión del aceite se realiza por un conjunto de válvulas limitadoras y distribuidoras, cuando el motor recibe el caudal hidráulico transmite el movimiento de giro a una caja de cambios (figura 1.34) o directamente a las ruedas (figura 1.35).



↑ **Figura 1.34.** Transmisión hidráulica con caja de cambios.



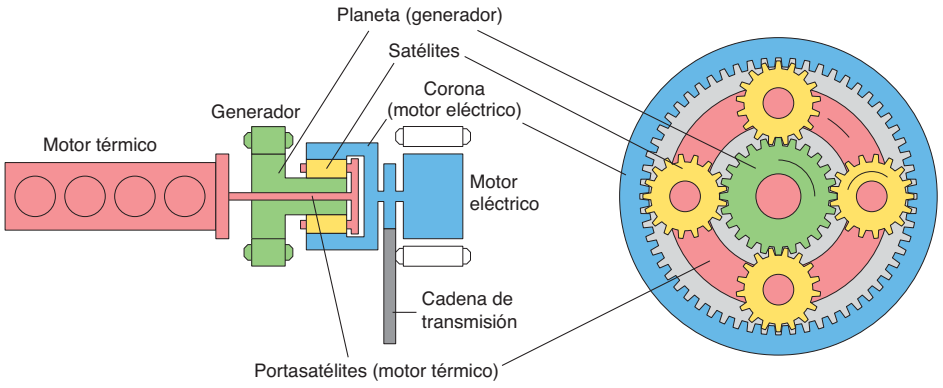
↑ **Figura 1.35.** Transmisión hidráulica con motores en ruedas.

8. La transmisión en los vehículos híbridos con dos motores

saber más

El motor eléctrico del nuevo Prius se alimenta con una tensión de 650 V en corriente alterna trifásica, tiene una potencia de 60 kW (80 CV) y un par máximo de 207 N·m, el motor eléctrico es capaz de mover el vehículo y alcanzar los 80 km/h. El motor eléctrico también realiza la marcha atrás del vehículo.

Los vehículos híbridos montan dos motores con un sistema de transmisión común. Estos vehículos aprovechan las ventajas de ambos motores (la potencia del motor de combustión y el elevado par con un bajo consumo de los motores eléctricos). El acoplamiento de los dos motores y el generador se realiza mediante un sistema de transmisión con un tren epicicloidal (figura 1.36). La gestión del acoplamiento de los distintos motores se realiza con sistemas electrónicos inteligentes.



↑ **Figura 1.36.** Transmisión de un vehículo híbrido.

El sistema de control electrónico de la transmisión de Lexus, Hybrid Synergy Drive (HSD), tiene en cuenta en su funcionamiento los siguientes factores:

- La gestión de la energía del motor.
- Control de potencia.
- Control de freno regenerativo.

La gestión de la energía está controlada por la unidad electrónica inteligente que determina el motor que debe estar en funcionamiento, combustión interna o eléctrico.

Al arrancar el vehículo se pone en funcionamiento el motor eléctrico. Si el conductor requiere mayor potencia, la UEC envía una señal al motor de gasolina que lo pone en funcionamiento calculando al mismo tiempo las revoluciones que necesita para obtener dicha potencia.

La potencia total del sistema (HSD) la proporciona el funcionamiento en conjunto de los dos motores. En condiciones de repetidas paradas, circulando por ciudad, el motor de combustión interna puede llegar a no ponerse en funcionamiento.

El conjunto dispone de un sistema de freno de control electrónico que decide si se emplea el sistema de frenado hidráulico tradicional o un freno regenerativo con el motor eléctrico, que actúa como alternador que recupera la energía para cargar las baterías.

En el núcleo del dispositivo de reparto de energía hay un tren epicicloidal y una transmisión con un diferencial que controla la interacción entre el motor de combustión interna, el motor eléctrico y el generador (figura 1.36). El generador es el encargado de poner en marcha el motor de gasolina.

El control de todo el sistema se encuentra en el esquema de la figura 1.37.

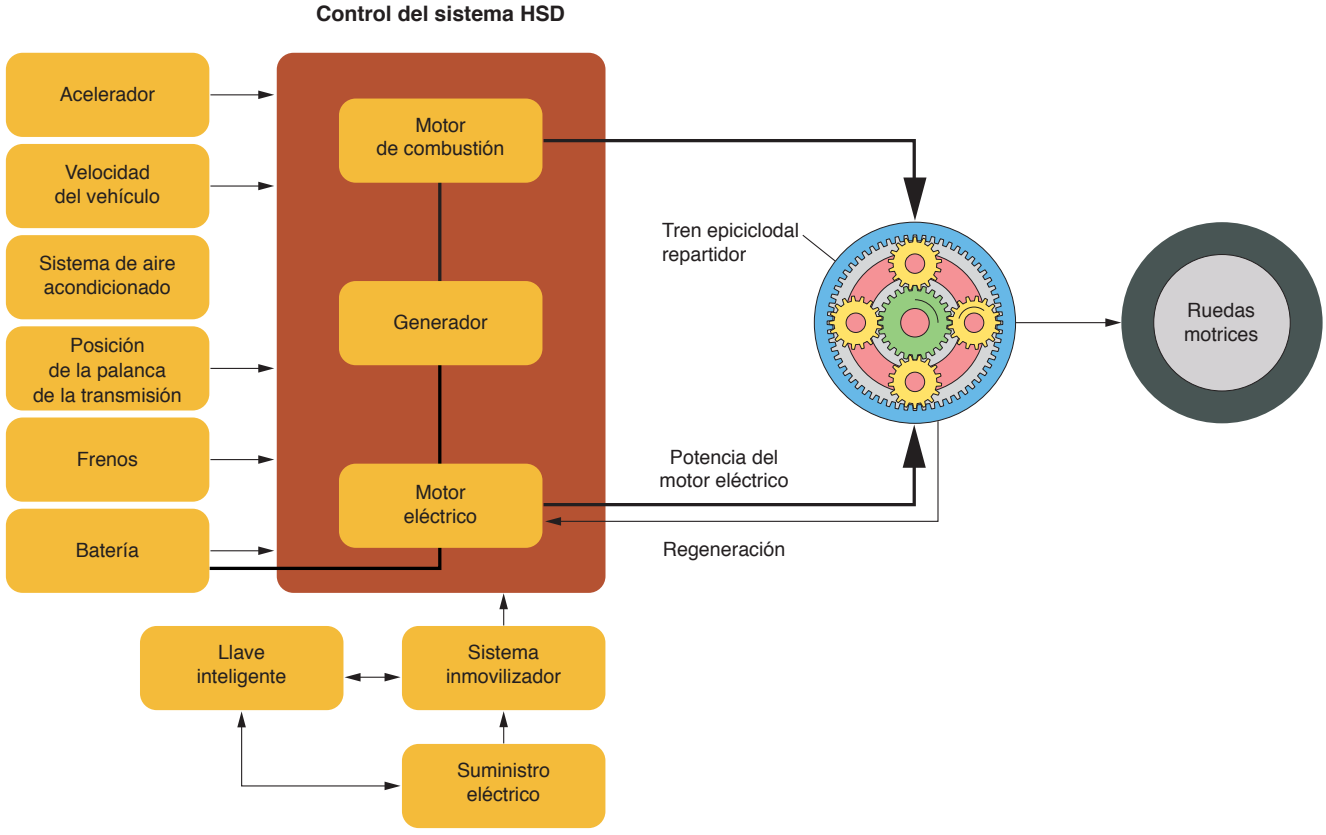
saber más

Seguridad

Para trabajar en los circuitos eléctricos de alta, primero desconectar el disyuntor desconectador que dispone la batería y esperar cinco minutos para las descargas de los condensadores, también es necesario emplear guantes protectores de la clase 0 contra tensiones de 1.000 V.

caso práctico inicial

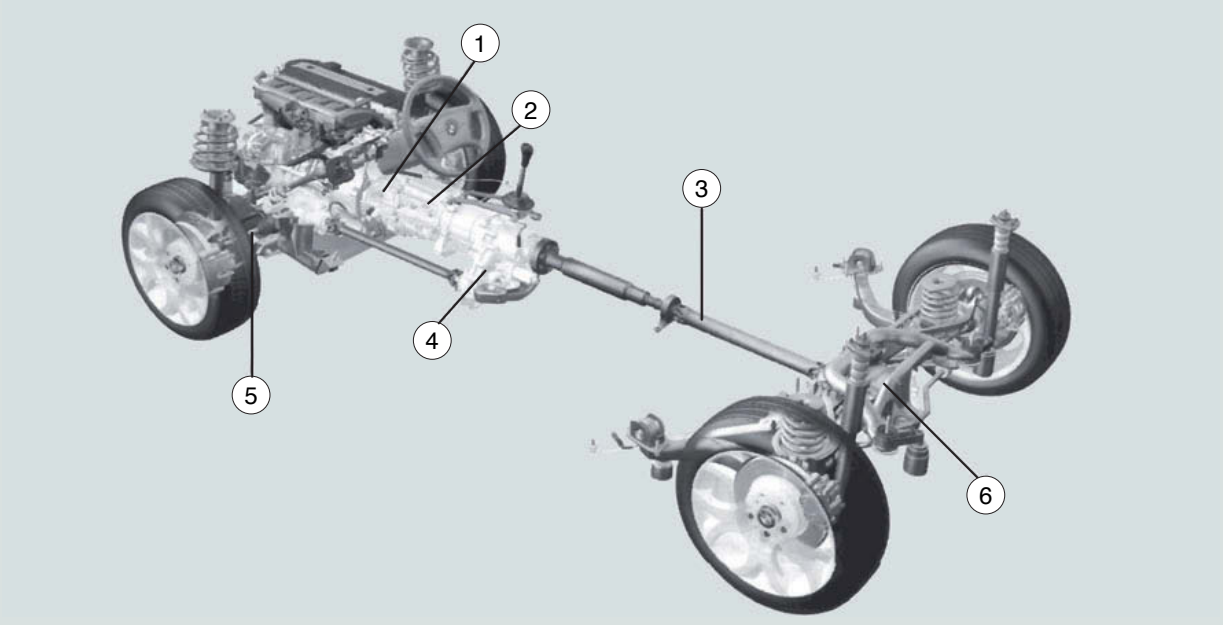
El sistema de transmisión con tren epicicloidal es uno de los componentes clave en los vehículos híbridos con dos motores.



↑ **Figura 1.37.** Control electrónico de la transmisión de un modelo hibrido.

ACTIVIDADES FINALES

1. Enumera las misiones más importantes que realiza la transmisión.
2. Calcula la resistencia a la rodadura de un turismo que tiene de masa 950 kg y se desplaza por un camino de tierra. Calcula esta resistencia también cuando se desplaza sobre una carretera asfaltada.
3. ¿El motor se considera parte de la transmisión? Razona la respuesta.
4. Explica cómo afectan a la marcha de un vehículo las resistencias siguientes:
   - Resistencia a la rodadura.
   - Resistencia del aire.
   - Resistencia por pendiente.
   - Resistencia por rozamiento mecánico.
   - Resistencia por inercia.
5. Calcula la potencia útil en el eje motriz de un vehículo que ofrece una potencia al freno (W_f) de 110 CV y unas pérdidas por rozamientos mecánicos de la transmisión del 15%.
6. Calcula el par transmitido (C_m) en un vehículo que dispone de una rueda de 360 mm de diámetro, si conocemos la fuerza de empuje en 1ª velocidad al eje motriz es de 3.000 N.
7. Explica en qué medida afecta el coeficiente aerodinámico del vehículo «c_x» en el consumo de combustible y la manera de disminuirlo.
8. ¿Qué tipo de transmisión es la más empleada en los automóviles? ¿Por qué crees que es la más empleada?
9. Explica en qué medida condiciona la posición del motor en las transmisiones de los vehículos.
10. Nombra en tu cuaderno los distintos componentes de la transmisión de la figura 1.38.



↑ **Figura 1.38.**

EVALÚA TUS CONOCIMIENTOS

Resuelve en tu cuaderno o bloc de notas

1. Se conoce como transmisión:

a. El conjunto de caja de cambios, diferencial y transmisiones.

b. El conjunto de órganos mecánicos que transmiten el giro del motor hasta las ruedas.

c. El conjunto de órganos mecánicos que generan el par motor.

d. El conjunto motor y la caja de cambios.

2. En un automóvil con motor delantero y propulsión trasera, la cadena cinemática es:

a. Embrague, caja de cambios, árbol de transmisión, grupo cónico, diferencial y semiárboles.

b. Caja de cambios, embrague, árbol de transmisión y semiárboles.

c. Embrague, caja de cambios, grupo cónico, diferencial y semiárboles.

d. Embrague, caja de cambios, árbol de transmisión y semiárboles.

3. La resistencia a la rodadura depende de los factores siguientes:

a. Peso que soporte la rueda y dimensiones del neumático.

b. Peso que soporte la rueda y tipo de terreno por el que se desplace.

c. Tipo de terreno por el que se desplace el vehículo y dimensiones del neumático.

d. Peso que soporte la rueda, tipo de terreno por el que se desplace y dimensiones del neumático.

4. El coeficiente aerodinámico, c_x, está relacionado con:

a. La potencia del modelo.

b. El diseño de la carrocería.

c. El peso soportado.

d. El tipo de transmisión que equipe el modelo.

5. La resistencia por inercia se produce:

a. En las aceleraciones y deceleraciones.

b. Solamente al acelerar.

c. Solamente en las deceleraciones.

d. En los descensos pronunciados.

6. ¿Qué transmisión equipa un vehículo con motor delantero y tracción trasera?

a. 4x4.

b. 6x4.

c. 4x2.

d. 2x2.

7. Generalmente, ¿qué vehículo equipa una transmisión por piñones y cadena?

a. Tractor.

b. Camión.

c. Moto.

d. Retroexcavadora.

8. ¿En qué unidad de medida se mide el peso de un vehículo?

a. Kilogramos.

b. Newton.

c. Bares.

d. daN · m.

9. ¿Qué órgano permite acoplar y desacoplar el motor de la transmisión?

a. El embrague.

b. El diferencial.

c. El árbol de trasmisión.

d. El La caja de reenvío.

10. ¿Qué dos tipos de motores emplea la transmisión híbrida (HDS)?

a. Un motor diésel y otro de gasolina.

b. Un motor eléctrico y otro de gasolina.

c. Un motor diésel y otro eléctrico.

d. Dos motores eléctricos.

PRÁCTICA **PROFESIONAL**

HERRAMIENTAS

- Elevador de vehículos

MATERIAL

- Vehículo 4x4

Identificar los conjuntos mecánicos que forman la transmisión de un vehículo 4x4

OBJETIVOS

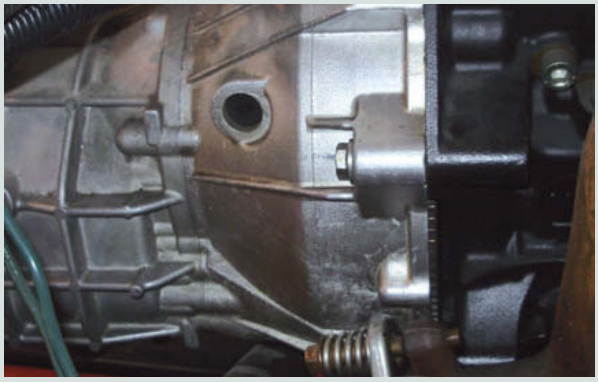
Localizar en un vehículo todos los componentes que forman la cadena de transmisión de un vehículo, el embrague, la caja de cambios, caja de transferencia, árboles de transmisión, puente trasero, delantero y semiárboles de transmisión.

PRECAUCIONES

Antes de subir el vehículo en el elevador, colocar bien las patas en los puntos de elevación del vehículo.

DESARROLLO

1. Localizar la posición del embrague, que se encuentra entre el motor y la caja de cambios (figura 1.39).
2. Unida a la envolvente del embrague se encuentra la caja de cambios (figura 1.40).

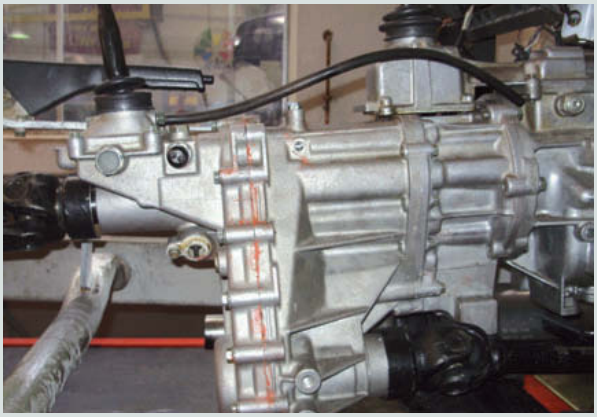


↑ **Figura 1.39.** Embrague.

↑ **Figura 1.40.** Caja de cambios.

3. La caja de cambios en su salida de la fuerza tiene unida la caja reductora (figura.1.41).
4. Junto con la caja reductora se encuentra la caja de transferencia con cadena del eje delantero 4x4 (figura 1.42).

↑ **Figura 1.41.** Caja reductora.



↑ **Figura 1.42.** Caja de transferencia al eje delantero.

5. La caja de transferencia dispone de dos salidas de fuerza, una salida para el eje trasero y la otra para el eje delantero. En cada salida de fuerza se engranan los árboles de transmisión con juntas universales o cardan (figuras 1.43 y 1.44).

↑ **Figura 1.43.** Árbol de transmisión del eje trasero.

↑ **Figura 1.44.** Árbol de transmisión al eje delantero.

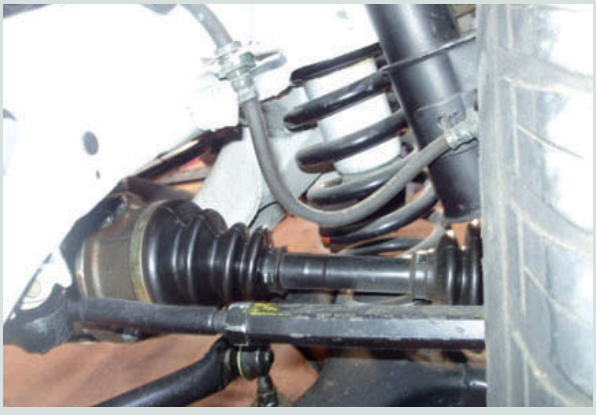
6. Engranando con los árboles de transmisión se monta un grupo reductor y un diferencial (figuras 1.45 y 1.46).

↑ **Figura 1.45.** Puente trasero.

↑ **Figura 1.46.** Puente delantero.

7. Engranando sobre los planetarios se colocan los palieres en el eje trasero y semiárboles en el eje delantero (figura 1.47), semiárbol delantero derecho y semiárbol delantero izquierdo en la figura.1.48.

↑ **Figura 1.47.** Semiárbol delantero derecho.



↑ **Figura 1.48.** Semiárbol delantero izquierdo.

PRÁCTICA **PROFESIONAL**

HERRAMIENTAS

- Pistola de impacto
- Juego de llaves de vaso
- Juego de llaves de torx
- Juego de llaves fijas
- Radial con disco abrasivo
- Cincel, granete y martillo

MATERIAL

- Motocicleta
- *Kit* de transmisión nuevo (piñón, corona y cadena)
- Grasa
- Guantes

Cambio del *kit* de transmisión de una motocicleta

OBJETIVOS

Realizar la sustitución de un *kit* completo de transmisión de una moto (piñón, corona y cadena).

PRECAUCIONES

- Utilizar la herramienta adecuada.
- Utilizar guantes de protección.
- Comprobar que el *kit* de transmisión a sustituir es similar al nuevo (número de dientes de piñón y corona y longitud de la cadena).

DESARROLLO

Para llevar a cabo esta práctica se situará la motocicleta sobre un caballete o en un elevador de motocicletas, siguiendo el proceso que se detalla a continuación:

1. En primer lugar desmontar la tapa protectora del piñón. Para ello utilizar una llave de torx y extraer los tres tornillos que dispone (figura 1.49).
2. Al extraer la tapa se queda visible la tuerca del piñón de ataque (figura 1.50).

↑ **Figura 1.49.** Desmontaje de la tapa protectora del piñón.

↑ **Figura 1.50.** Extracción de la tapa.

↑ **Figura 1.51.** Tuerca del piñón bloqueada por la arandela.

3. Con ayuda de un cincel y un martillo, abrir la chapa de retención de la tuerca del piñón (figura 1.52).
4. Aflojar la tuerca del piñón con la llave de impacto y el vaso de 30 mm, figura 1.53, extraer la tuerca y la arandela de fijación (figura 1.54). Para ello la cadena estará engranada y el cambio no tendrá ninguna velocidad seleccionada. Para aflojar la tuerca se frenará la rueda trasera mediante el pedal de freno.

↑ **Figura 1.52.** Apertura de la chapa de retención.

↑ **Figura 1.53.** Extracción de la tuerca del piñón con la llave de impacto.

↑ **Figura 1.54.** Extracción de la tuerca y de la chapa de retención.

5. Aflojar, con una llave de 24 mm, la tuerca del eje de la rueda trasera sujetando el eje por el lado del freno con una llave fija de 19 mm (figura 1.55).
6. Con una llave de torx, extraer los tornillos del guardabarros trasero y protector de la cadena (véase figura 1.56).
7. Extraer el eje de la rueda trasera. De esta manera se quedará libre la rueda y la pinza de freno (figura 1.57).

↑ **Figura 1.55.** Extracción de la tuerca del eje de la rueda trasera.

↑ **Figura 1.56.** Extracción de los tornillos del guardabarros trasero y protector de la cadena.

↑ **Figura 1.57.** Extracción del eje de la rueda.

8. Extraer la cadena de la corona (figura 1.58).
9. Con la rueda desmontada, aflojar los tornillos de sujeción de la corona y extraerla, empleando dos llaves de 13 mm y extraer las tuercas de los seis tornillos pasadores de cabeza hexagonal (véase figura 1.59).
10. Extraer la corona vieja de la rueda trasera (figura 1.60).

↑ **Figura 1.58.** Extracción de la cadena.

↑ **Figura 1.59.** Desmontaje de la corona de la rueda.

↑ **Figura 1.60.** Corona vieja desmontada.

11. Limpiar la zona de apoyo de la corona (figura 1.62) y montar la corona nueva apretando los tornillos de cabeza hexagonal en cruz con un par aproximado de 21 Nm (véase figura 1.63).

↑ **Figura 1.61.** *Kit* de transmisión nuevo.

↑ **Figura 1.62.** Limpieza de la zona de apoyo de la corona.

↑ **Figura 1.63.** Montaje de la corona nueva.

12. Limpiar el casquillo del eje de la rueda, engrasarlo y montarlo en su posición (figura 1.64).

PRÁCTICA **PROFESIONAL** (cont.)

13. Desmontar la cadena. Para ello, el manual de reparaciones del fabricante indica que se debe desmontar el basculante, sin embargo, como la cadena a montar pertenece a un *kit* y está abierta, no es necesario y simplemente se deberá extraer un eslabón de la cadena vieja.
14. Para extraer el eslabón utilizar una radial con disco abrasivo (véase figura 1.65).

↑ **Figura 1.64.** Montaje del casquillo de rueda con grasa.

↑ **Figura 1.65.** Desbastado de un engranaje de la cadena.

↑ **Figura 1.66.** Engranaje suelto.

15. Una vez desmontado el eslabón, extraer la cadena (figura 1.66).
16. Extraer el piñón viejo (figura 1.67).
17. Ver el estado de la barra de deslizamiento de la cadena y limpiar la grasa vieja (véase figura 1.68). Si la barra se encuentra desgastada se debe sustituir por una nueva.

↑ **Figura 1.67.** Desmontaje de la cadena vieja (zona del piñón).

↑ **Figura 1.68.** Extracción del piñón viejo.

↑ **Figura 1.69.** Barra de deslizamiento de la cadena.

18. Limpiar el eje del piñón y la zona adyacente. Engrasar el eje antes de montar el piñón (véase figura 1.70).
19. Montar el piñón nuevo en el eje estriado, la chapa de retención y la tuerca hexagonal de sujeción del piñón (figuras 1.71 y 1.72).

↑ **Figura 1.70.** Engrase del eje del piñón.

↑ **Figura 1.71.** Montaje del piñón nuevo.

↑ **Figura 1.72.** Montaje de la chapa de retención de la tuerca de sujeción del piñón.

20. Montar la rueda introduciendo el eje de la misma por el basculante, por el soporte de la pinza y por la propia rueda (figura 1.73).

↑ **Figura 1.73.** Montaje del eje de la rueda.

↑ **Figura 1.74.** Rueda montada sin fijar.

↑ **Figura 1.75.** Montaje de la cadena nueva.

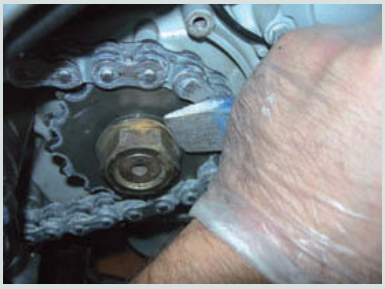
21. Montar la cadena nueva en su posición y unir los dos extremos en la cadena (figura 1.76). El eslabón de unión de la corona debe disponer de retenes como el resto de eslabones de la cadena.
22. Existen dos tipos de eslabones para unir la cadena: los remachados como en el caso de la práctica y los que disponen de clic de seguridad. Para montar el eslabón que une la cadena se utilizará una sufridera por la parte trasera del eslabón y se remachará golpeando con ayuda del granete y del martillo (véase figura 1.77).

↑ **Figura 1.76.** Montaje del eslabón de la cadena.

↑ **Figura 1.77.** Remachado del eslabón.

↑ **Figura 1.78.** Cadena montada.

23. Con la cadena montada y pisando sobre el pedal de freno, apretar con la llave de impacto la tuerca de fijación del piñón, aproximadamente a 140 Nm.
24. Fijar la tuerca del piñón doblando con ayuda del cincel la chapa de retención (figura 1.79).
25. Tensar la cadena y centrar la rueda. Apretar o aflojar los tornillos tensores de la cadena hasta que la flecha de cadena esté entre 35 y 45 milímetros (véase figura 1.80).
26. Reapretar la tuerca de sujeción del eje de la rueda y posteriormente los tornillos de tensado.
27. Montar finalmente los tornillos de torx del guardabarros trasero y protector de la cadena.



↑ **Figura 1.79.** Fijación de la tuerca del piñón.

↑ **Figura 1.80.** Centrado de la rueda y tensado de la cadena.

↑ **Figura 1.81.** Comprobación de la tensión de la cadena.

MUNDO **TÉCNICO**

Inspirado en el mundo del motociclismo

Hyundai ha presentado en primicia mundial su coupé último modelo Veloster de tres puertas en el Salón Internacional del Automóvil de Norteamérica. El Veloster 2012 aporta innovación al segmento del coupé compacto con una tercera puerta única que permite acceder fácilmente a las plazas posteriores, el sistema telemático Blue Link de Hyundai, radio Pandora por Internet con pantalla táctil de siete pulgadas y un nuevo motor de cuatro cilindros de 1,6 litros e inyección directa con la primera transmisión de doble embrague de Hyundai.

La nueva transmisión DCT de Hyundai combina las ventajas de la transmisión manual, como el bajo consumo de combustible y la conducción deportiva, con las de la transmisión automática, como su gran comodidad y la suavidad de los cambios de marcha. Además, la transmisión DCT permite una conexión directa para ofrecer un alto rendimiento y una transferencia de par continua durante los cambios de marcha.

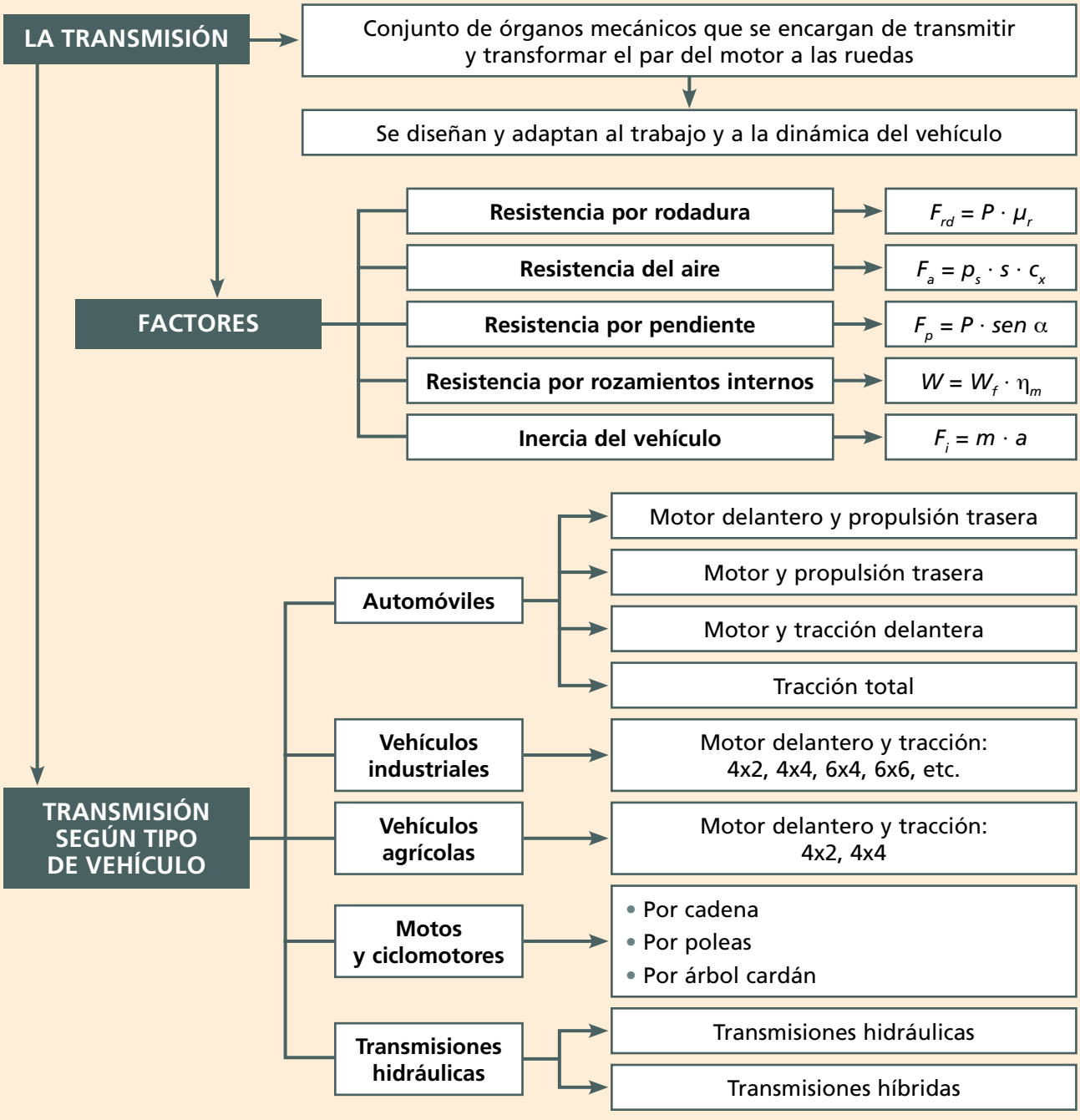
Otras ventajas de la transmisión DCT sobre la automática clásica incluyen una mejora del cinco o seis por ciento en el consumo del combustible así como de un tres a un siete por ciento en las prestaciones de aceleración.

Puede contemplarse la transmisión DCT del Veloster como si fueran dos transmisiones manuales clásicas, cada una de ellas con su propio embrague, que trabajan en paralelo y que alternan los cambios de marchas. El Veloster es un seis velocidades con un embrague que actúa en las marchas primera, tercera y quinta y otro que lo hace en las segunda, cuarta, sexta y marcha atrás. Este proceso de cambios de marchas se traduce en unas transiciones rápidas y suaves sin la pérdida de rendimiento que se asocia normalmente a los convertidores de par. El conjunto de actuador del embrague incorpora motores eléctricos para su acción y un amortiguador externo que mejora el nivel de ruido, vibraciones y aspereza.

Fuente: <www.gpeuropa.net>

↑ **Figura 1.82.** Hyundai Veloster.

EN **RESUMEN**



entra en internet

1. En las páginas web de los fabricantes de vehículos y componentes encontrarás información detallada de los sistemas de transmisión que emplean sus modelos, como por ejemplo:
   • <www.zf.com> • <www.schaeffler.es> • <www.audi.es> • <www.haldex.com>

2 Embragues y convertidores de par

vamos a conocer...

1. Misión del embrague
2. Tipos de embragues
3. Principios de funcionamiento del embrague de fricción
4. Componentes del embrague de fricción con discos
5. Embrague bidisco
6. Embrague por conos de fricción
7. Embrague multidisco bañado en aceite
8. Accionamientos del embrague de fricción
9. Mantenimiento del embrague de fricción
10. Embrague hidráulico
11. Convertidor de par
12. Embrague electromagnético

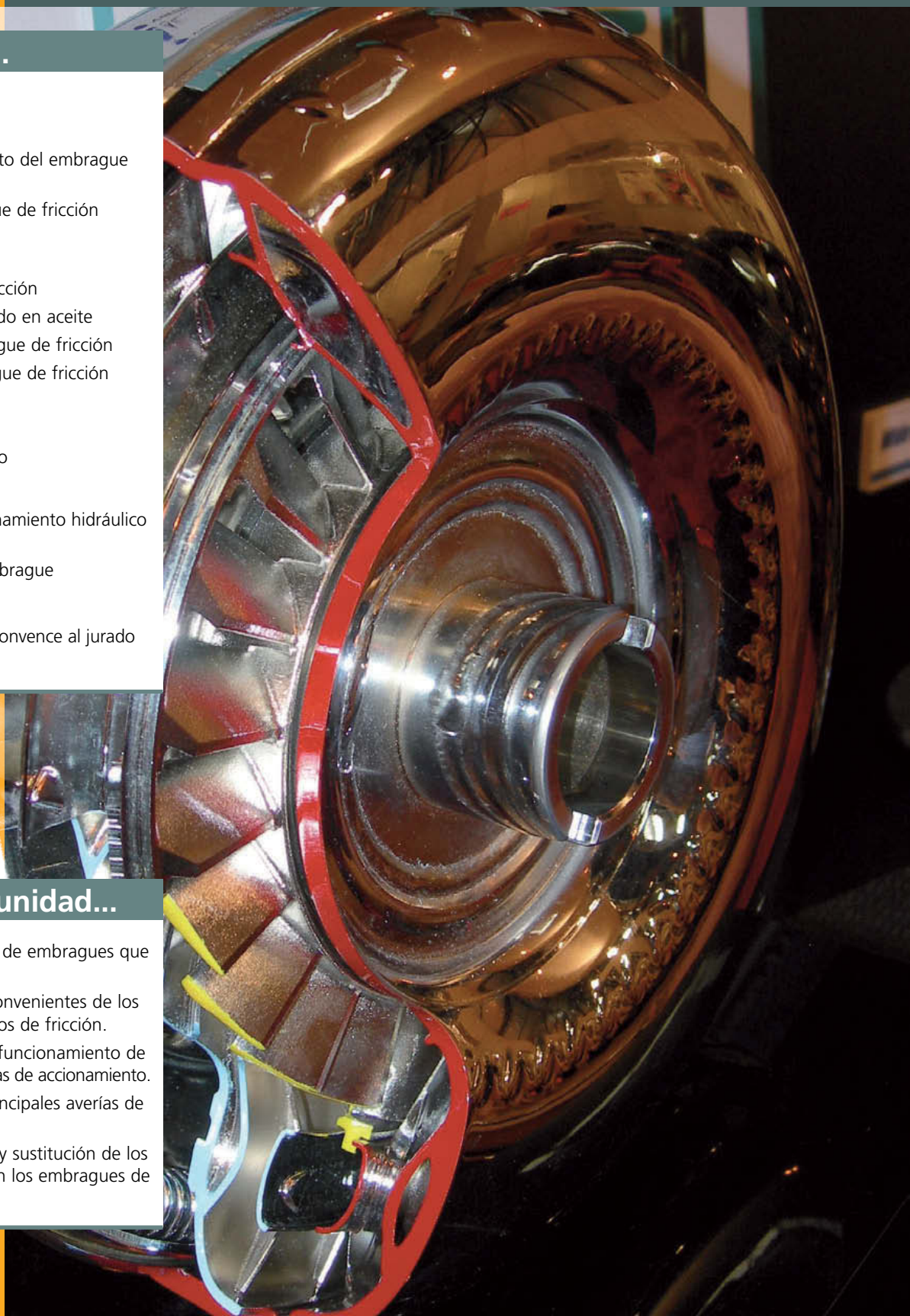
PRÁCTICA **PROFESIONAL**

Sustituir el bombín de accionamiento hidráulico del embrague

Desmontar y verificar un embrague

MUNDO **TÉCNICO**

El embrague doble en seco convence al jurado internacional



y al finalizar esta unidad...

- Conocerás los distintos tipos de embragues que se montan en los vehículos.
- Conocerás las ventajas e inconvenientes de los embragues hidráulicos y de los de fricción.
- Entenderás los principios de funcionamiento de los embragues y de los sistemas de accionamiento.
- Aprenderás a localizar las principales averías de los embragues.
- Realizaras el mantenimiento y sustitución de los elementos que intervienen en los embragues de fricción.

CASO **PRÁCTICO** INICIAL

situación de partida

El embrague es el primer mecanismo que interviene en la transmisión de potencia desde el motor hasta los neumáticos. El embrague se encuentra situado entre el motor y la caja de cambios, formando un conjunto; motor, embrague y caja de cambios.

El embrague se encarga de acoplar y desacoplar la transmisión del par desde el motor a la caja de cambios, el acoplamiento en todos los tipos de embragues se realiza de forma progresiva y sin tirones.

El tipo de embrague montado en el vehículo está condicionado por el modelo de caja de cambios: los vehículos con cajas de cambios manuales obligan a montar embragues de fricción en seco o bañados en aceite y controlados por el conductor desde el pedal del embrague.

El embrague de fricción permite realizar el corte de la transmisión del par al cambio y poder realizar el cambio de velocidades de forma manual; los componentes del embrague se encuentran sometidos al desgaste propio en cada acoplamiento, cuando el vehículo ha realizado un determinado número de kilómetros, es necesario cambiar los componentes desgastados.

Las cajas automatizadas, tipo DSG y Powershift, montan dos embragues de fricción bañados en aceite en un conjunto, el accionamiento de los dos embragues se realiza de forma independiente y automática con la gestión del módulo del cambio. El vehículo no dispone de pedal de embrague.

Las cajas automáticas sin gestión electrónica (vehículos clásicos) montan embragues hidráulicos, la transmisión del par del motor se realiza de forma automática al aumentar el número de revoluciones del motor, el vehículo no dispone de pedal de embrague.

En las cajas automáticas modernas gestionadas electrónicamente, se montan convertidores de par con embrague anulador.

El convertidor de par es un mecanismo automático que acopla la transmisión de forma continua y automática, al aumentar el número de revoluciones del motor, sin la intervención directa del conductor. El embrague anulador que lleva incorporado el convertidor es gestionado por el módulo del cambio y permite acoplar la transmisión de forma directa del motor al cambio, anulando el resbalamiento y las pérdidas de potencia del convertidor.

El embrague anulador es la única pieza que trabaja por fricción y es la que más averías provoca en el convertidor.

estudio del caso

Antes de empezar a leer esta unidad de trabajo, puedes contestar las dos primeras preguntas. Después, analiza cada punto del tema, con el objetivo de contestar al resto de las preguntas de este caso práctico.

1. ¿Qué tipo de embrague es el más empleado en los automóviles de pequeña y mediana cilindrada?
2. ¿Qué tipo de embrague están equipando los vehículos de gama alta y todoterreno de lujo?
3. ¿Qué tipo de embrague de fricción sufre menos desgaste?
4. ¿Por qué no necesitan pedal de embrague los vehículos que montan cambios automáticos?
5. ¿Qué ventajas tiene el convertidor de par que dispone de embrague anulador?

1. Misión del embrague

recuerda

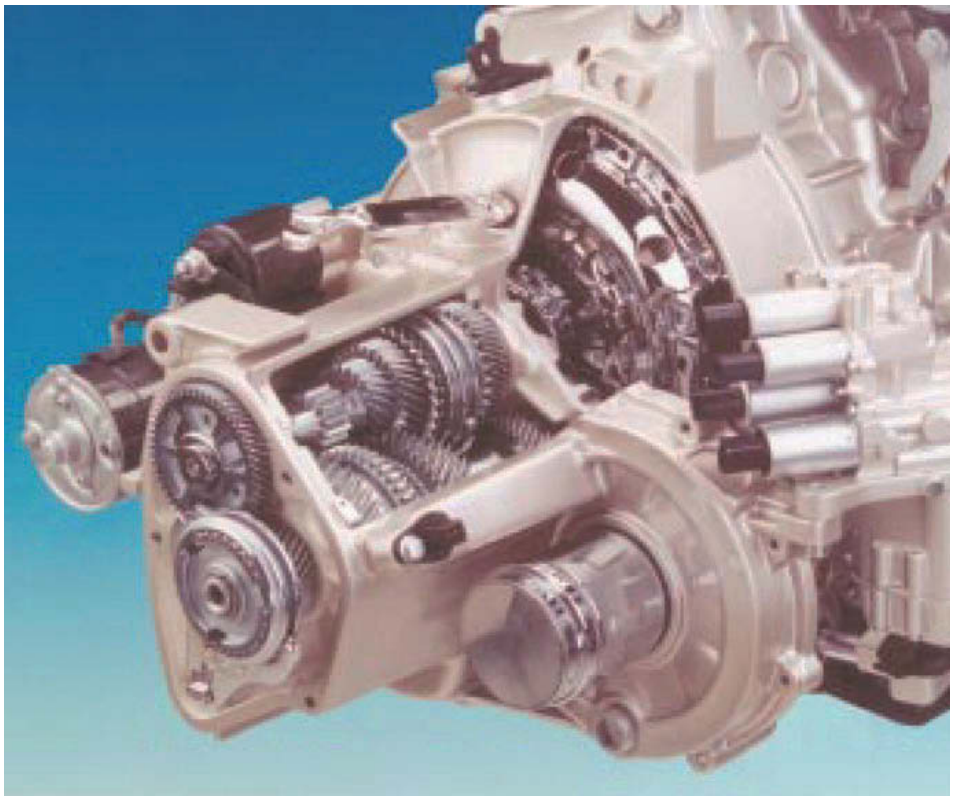
La transmisión progresiva del par desde el motor hasta la caja de cambios es la principal característica de los embragues de fricción. Si el acoplamiento del embrague fuese directo, sin progresión, el motor de combustión con pocas revoluciones se pararía.

La principal misión del embrague es transmitir la potencia del motor al cambio de forma progresiva. El acoplamiento suave y progresivo del embrague permite el desplazamiento del vehículo a bajas revoluciones y poco par, sin que el motor se cale; es, por tanto, un mecanismo transmisor del par motor al conjunto de la caja de cambios (figura 2.1).

En los vehículos con cambio manual, el embrague tiene otra función añadida, la de permitir desacoplar el giro del motor (desembragar) de la caja de cambios, para poder cambiar de velocidad. Este condicionante es el que impide el montaje de un convertidor de par en cajas de cambio manuales.

Un embrague, para cumplir con fiabilidad y seguridad su cometido, debe reunir las siguientes características:

- Buena resistencia mecánica que permita transmitir el par motor al cambio.
- Elevada resistencia térmica, para absorber el calor que se genera en la fricción.
- Gran adherencia que evite que el embrague patine y pierda fuerza de transmisión.
- Progresión y elasticidad, para transmitir el movimiento sin brusquedades.



↑ **Figura 2.1.** Conjunto de caja de cambios y embrague.

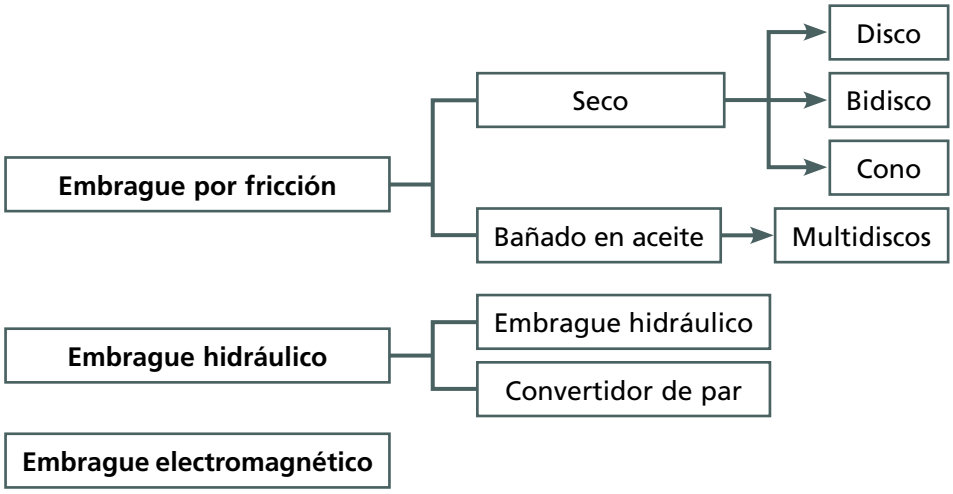
Los convertidores de par que se montan en los vehículos con cambio automático son también embragues, acoplan y desacoplan el giro del motor al cambio. El diseño y funcionamiento de los convertidores aumentan el par a bajas vueltas y no se pueden desacoplar empleando un accionamiento o pedal.

2. Tipos de embragues

El tipo de embrague que se monta en un vehículo está condicionado por la caja de cambios, los vehículos con caja de cambios manual obligan a montar embragues de fricción, monodisco en los automóviles, y multidiscos bañados en aceite en las motocicletas.

Los modelos con cambio automático montan embragues hidráulicos o convertidores de par.

Los embragues se pueden clasificar de la siguiente forma:

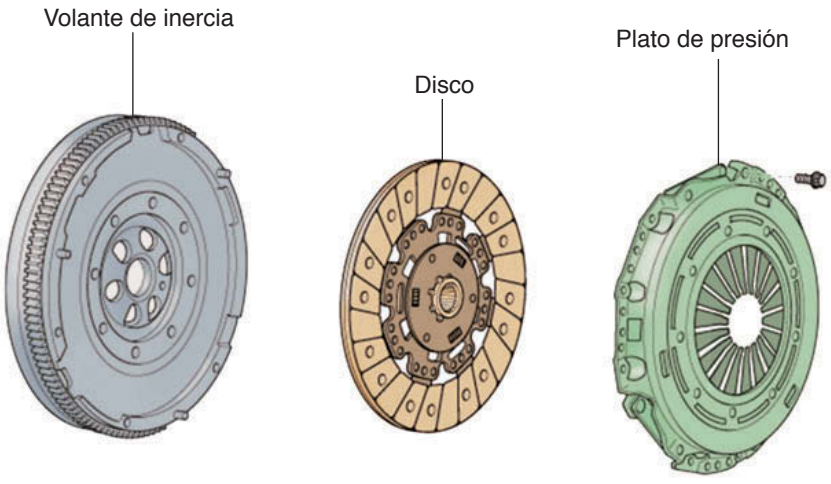


3. Principios de funcionamiento del embrague de fricción

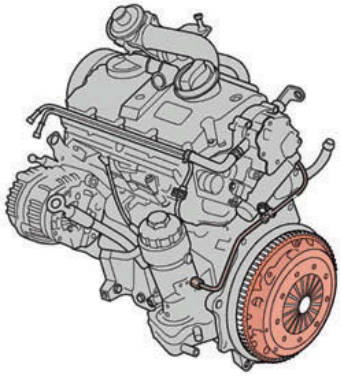
El embrague de fricción en seco con un solo disco (figura 2.2) es el embrague más empleado en los automóviles con cambio manual, mecánicamente el embrague es sencillo y con poco mantenimiento. El principal inconveniente es el desgaste de los componentes que friccionan, ferodo del disco, maza de presión y collarín de empuje.

caso **práctico** inicial

Los embragues de fricción bañados en aceite «multidiscos» sufren mucho menos desgaste que los que trabajan en seco.



↑ **Figura 2.2.** Componentes del embrague de fricción con disco.



↑ **Figura 2.3.** Situación del embrague en el conjunto del motor.

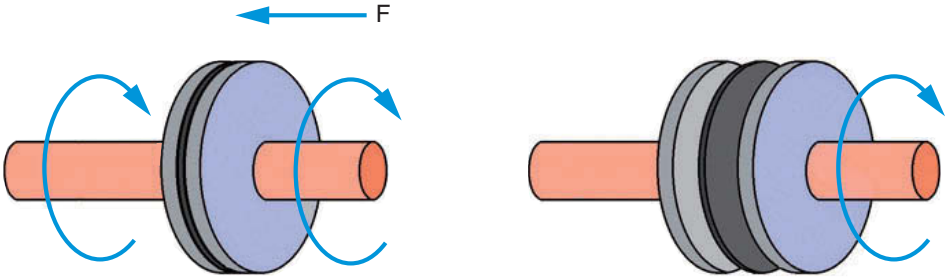
En las motocicletas, por razones de espacio, se montan embragues de discos bañados en aceite (multidiscos). En los tractores agrícolas de mucha potencia se pueden montar embragues multidiscos bañados en aceite, lo que permite que se pueda enfriar el aceite y todo el conjunto aumentando la duración del embrague.

El principio de funcionamiento del embrague es común para todos los modelos.

Consiste en interponer un disco entre dos platos planos que lo presionan hasta conseguir que gire formando una pieza y transmitir así el giro y el par del motor al conjunto mecánico siguiente, la caja de cambios.

El embrague se encuentra situado en la salida de fuerza del motor (figura 2.3).

Cuando se necesite desacoplar el embrague (desembragar), la fuerza de empuje F que presiona el disco disminuye hasta que el disco gira libremente entre los platos o maza de presión (figura 2.4).



↑ **Figura 2.4.** Transmisión de movimiento del embrague de fricción.

Los embragues, en su funcionamiento normal, se encuentran sometidos a los siguientes esfuerzos:

- El par motor soportado.
- La fuerza de empuje.
- La fuerza transmitida.
- La presión máxima admisible en el disco.
- El par máximo transmitido.

3.1. Par motor soportado

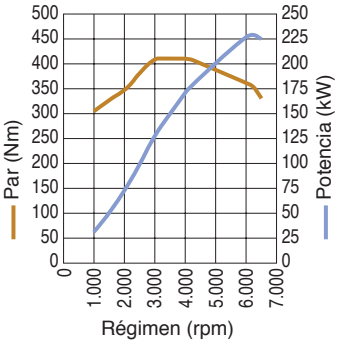
Es el momento de giro o par motor (C_m) que el motor proporciona al embrague para su transmisión al cambio.

$$C_m = 716{,}20 \frac{W_f}{\text{rpm}}$$

C_m = par motor, en kgf · m

W_f = potencia al freno, en CV

Los fabricantes de motores y vehículos proporcionan este dato en gráficas en las que el par motor aparece reflejado con la potencia del motor y el número de revoluciones por minuto que se alcanza (figura 2.5).



↑ **Figura 2.5.** Curva de par y de potencia de un motor Audi V8 5V.

3.2. Fuerza de empuje F_e

Es la fuerza que el plato de presión ejerce sobre el disco o discos, se produce por el mecanismo de presión que monte el embrague (muelles o diafragma). La fuerza de empuje que un diafragma de acero realiza, depende del espesor del acero y de la deformación cónica del diafragma, se suele medir por medio de ensayos reales.

En los embragues que disponen de muelles; la fuerza de empuje total es la suma de la fuerza que ejerce cada muelle multiplicado por el número de muelles del embrague (figura 2.6).

La fuerza que realiza un muelle se mide con un dinamómetro de muelles.

Por ejemplo, en un embrague de ocho muelles, cada uno ejerce una fuerza de 500 N; la fuerza de empuje total será:

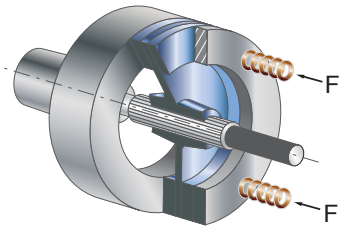
$F_e = F \cdot n^o$ de muelles

Ejemplo:

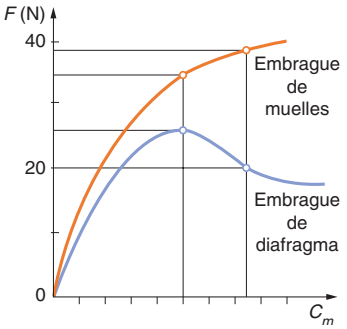
$F_e = 500\ \text{N} \cdot 8 = 4.000\ \text{N}$

Comparando las fuerzas que necesita realizar el conductor en el pedal para accionar un embrague con diafragma y otro de muelles, se observa que en el equipado con diafragma, la fuerza se realiza de forma progresiva en la primera fase de desembragado hasta vencer la conicidad del diafragma, a partir de ese punto la fuerza de empuje disminuye.

Por lo contrario, en el embrague de muelles el esfuerzo es progresivo, aumentando la fuerza conforme se comprimen los muelles (figura 2.7).



↑ **Figura 2.6.** Fuerza de empuje de los muelles.



↑ **Figura 2.7.** Comparativa de fuerzas necesarias para desembragar (muelles y diafragma).

3.3. Fuerza transmitida

Es la fuerza máxima que el embrague puede transferir F_t. Es el resultado de multiplicar la fuerza de empuje (F_e) por el coeficiente de rozamiento del disco de acero de la maza de presión μ y por el número de caras del disco de fricción del embrague (dos caras).

$F_t = F_e \cdot (\mu \cdot n)$

Por ejemplo:

$F_t = 4.000\ \text{N}\ (0{,}4 \cdot 2)$

$F_t = 400\ \text{daN} \cdot 0{,}8 = 320\ \text{daN}$

Cuando en el embrague patina (resbala) el disco con la maza, la fuerza transmitida disminuye; este efecto puede ser provocado por el conductor (al disminuir la fuerza de empuje, pedal a medio recorrido) o por falta de adherencia del disco con la maza (por calentamientos o desgaste del disco).

3.4. Presión máxima admisible en el disco

Es la presión que pueden soportar los materiales de los discos sin deteriorarse ni fatigarse. Se obtiene de dividir la fuerza que ejercen los muelles F_e entre la superficie de contacto total del disco.

$$p = \frac{F_e}{S}$$

Se admiten presiones de 2 a 3 kg/cm^2 para discos de embrague con ferodo. En los discos con materiales cerámicos (figura 2.8) obtenidos por sinterización, se pueden superar estas presiones sin riesgo de fatigar los materiales.

3.5. Par máximo transmitido

Es el resultado de aplicar la fuerza que el embrague puede transmitir en el punto o distancia desde donde se ejercería esa fuerza. El cálculo exacto obliga a realizar un cálculo de cada fuerza desde la distancia exacta que se aplica. Para cálculos aproximados, se supone que la fuerza se ejerce en un punto del radio medio del disco (figura 2.9).

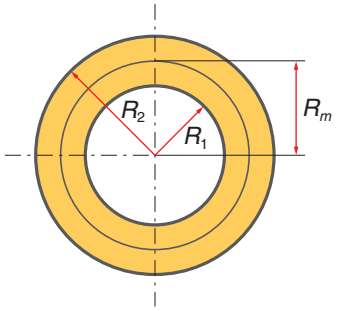
$$R_m = \frac{R_1 + R_2}{2}$$

recuerda

El coeficiente de rozamiento μ del acero con el ferodo de los discos de embrague está entre 0,3 y 0,5.

En acero y latón bañado en aceite oscila de 0,1 a 0,15.

↑ **Figura 2.8.** Disco de embrague cerámico.



↑ **Figura 2.9.** Radio medio de un disco de embrague.

recuerda

El radio medio (R_m) es la media aritmética de la suma de los radios mayor y menor de la zona con ferodo del disco.

Por ejemplo:

$$R_m = \frac{18\text{ cm} + 27\text{ cm}}{2} = 22{,}5\text{ cm}$$

$R_1 = 18$ cm

$R_2 = 27$ cm

Por lo tanto, en un embrague, el par transmitido sería el resultado de aplicar la fuerza transmitida por la distancia del radio medio.

Par = Fuerza · Distancia

$C_m = F_t \cdot R_m$

Por ejemplo:

$F_t = 320$ daN ; $R_m = 22{,}5$ cm

$C_m = 320\text{ daN} \cdot 0{,}225\text{ m} = 71{,}9\text{ daN} \cdot \text{m}$

El par máximo que puede transmitir el embrague del ejemplo anterior en condiciones normales de funcionamiento es de 71,9 da N · m.

EJEMPLO

Calcula en el embrague de muelles del Jeep CJ-3, con motor Perkins 4108, el par máximo que puede transmitir y la presión máxima admisible, según las medidas reales tomadas durante su reparación.

Solución:

La fuerza de empuje (F_e) de los muelles es:

- Seis muelles marcados en verde de 54,4 kgf.
- Tres muelles marcados en negro de 71 kgf.

$F_e = (54{,}4 \cdot 6) + (71 \cdot 3) = 326{,}4 + 213 = 539{,}4$ kgf

El coeficiente de rozamiento aproximado entre el acero y el ferodo es de $\mu = 0{,}25$

Por lo tanto, la fuerza transmitida es:

$F_t = F_e \cdot (\mu \cdot n)$

$F_t = 539{,}4\text{ kgf} \cdot (0{,}25 \cdot 2) = 269{,}7$ kgf

Si conocemos las medidas del disco de embrague, calculamos el radio medio (R_m):

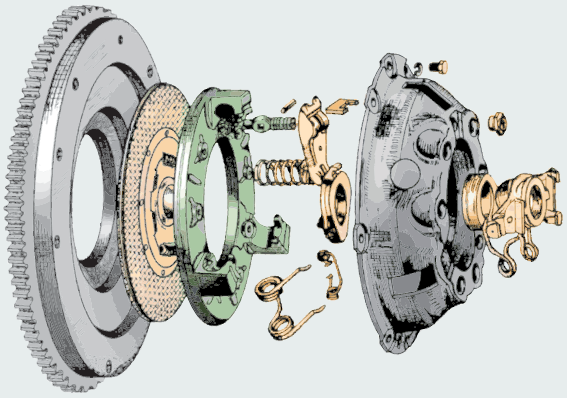
- Diámetro exterior del disco, 234 mm (23,4 cm).
- Diámetro interior, 150 mm (15 cm).

$$R_m = \frac{D_{int}/2 + D_{ext}/2}{2} = \frac{15/2 + 23{,}4/2}{2} = 9{,}6\text{ cm} = 0{,}096\text{ m}$$

El par máximo (C_m) que puede transmitir el embrague es:

$C_m = F_t \cdot R_m$

$C_m = 269{,}7\text{ kgf} \cdot 0{,}096\text{ m} = 25{,}9\text{ kgf} \cdot \text{m}$



↑ **Figura 2.10.** Despiece del embrague se muelles del Jeep.

La superficie de rozamiento del disco será igual:

$$S = \frac{\pi \cdot D^2_{ext}}{4} - \frac{\pi \cdot D^2_{int}}{4} = \frac{3{,}14 \cdot (23{,}4\text{ cm})^2}{4} - \frac{3{,}14 \cdot (15\text{ cm})^2}{4} = 430{,}05\text{ cm}^2 - 176{,}7\text{ cm}^2 = 253{,}3\text{ cm}^2$$

La presión soportada por el ferodo del disco será:

$$p = \frac{F_e}{S} = \frac{539{,}4\text{ kgf}}{253{,}3\text{ cm}^2} = 2{,}13\text{ kgf/cm}^2$$

4. Componentes del embrague de fricción con discos

El embrague con discos de fricción está formado por los siguientes elementos:

4.1. El disco de embrague

Es un disco de metal situado entre el volante motor y el plato de presión. En el centro lleva un orificio estriado en el que engrana el eje primario de la caja de cambios (figura 2.11).

La misión del disco de embrague es transmitir el movimiento desde el volante motor (órgano conductor), que gira solidario al cigüeñal, hasta el eje primario de la caja de cambios (órgano conducido). Esta transmisión de movimiento requiere dos cualidades principales:

- Para las operaciones de embrague, el disco debe resbalar unos momentos entre el volante y el plato de presión, pero este resbalamiento debe ser progresivo y suave para no provocar tirones al igualar las velocidades del conductor y conducido.
- Una vez embragado, el disco debe quedar firmemente sujeto y sin resbalamiento entre el disco y la maza. El disco es el transmisor de todo el par del motor al cambio.

Para conseguir estas dos cualidades, los discos de embrague están construidos con las siguientes características:

- Para evitar el resbalamiento una vez embragado, el disco metálico está recubierto por ambos lados de su perímetro exterior de un material rugoso, resistente al calor y al rozamiento, conocido como «ferodo».
- Para conseguir suavidad de funcionamiento, el ferodo incorpora una serie de cortes radiales en su perímetro exterior de tal modo que, como el forro de ferodo se une mediante unos remaches a sectores de disco separados, permiten una cierta elasticidad con relación al centro del disco que es donde se trasmite el giro.

El disco de embrague está formado por dos piezas: una forma la parte exterior del disco en el que se encuentran los ferodos, y la otra que forma parte del mandril en el que engrana el primario de la caja de cambios. La unión entre estas dos piezas se realiza mediante unos muelles que se alojan en unas ventanas practicadas sobre las tres placas, **muelles de progresión** «D» (en algunos casos se sustituyen por unas piezas de caucho moldeado), de forma que cuando una de las placas tiende a pasar movimiento a la otra, este pasa a través de los muelles consiguiendo cierta elasticidad y absorbiendo gran parte de las brusquedades originadas en el disco, este dispositivo se conoce con el nombre de «mecanismo de progresión» (figura 2.12). En los embragues tipo bimasa, el disco de embrague no dispone de muelles de progresión (figura 2.13) ésta misión la realiza el conjunto bimasa.

↑ **Figura 2.11.** Disco de embrague con muelles de progresión y ferodo remachado.

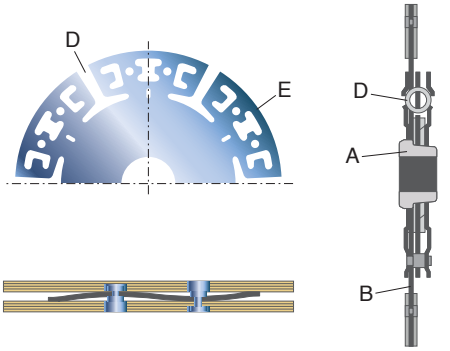
caso práctico inicial

El ferodo del disco de embrague en los embragues de fricción en seco es el componente que más desgaste sufre.

vocabulario

Ferodo

Material antifricción formado con fibras e hilos metálicos, y resinas sintéticas que se emplea principalmente para forrar las zapatas de los frenos, los embragues, etc.



↑ **Figura 2.12.** Disco de embrague con muelles de progresión seccionado.

↑ **Figura 2.13.** Disco sin muelles de progresión.

4.2. Plato o maza de presión

↑ **Figura 2.14.** Maza de presión.

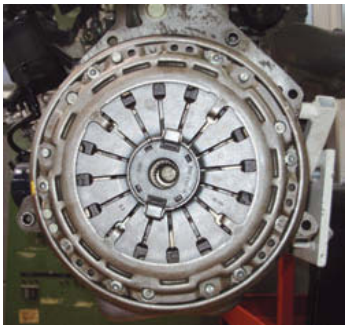
La maza de presión es la pieza que oprime el disco de embrague contra el volante motor (figura 2.14), la maza consta de un plato metálico de acero en forma de corona circular unido a la carcasa mediante un dispositivo elástico que lo oprime contra el disco de embrague y que a su vez le permite el movimiento axial necesario para liberar de presión el disco y desembragar.

El mecanismo elástico puede ser un diafragma de acero o muelles, dependiendo siempre del tipo de embrague y esfuerzos que tenga que soportar. Lógicamente, cualquiera que sea este dispositivo, ha de estar calculado para que la fuerza con que oprima el plato de presión sea suficiente para transmitir todo el par motor a soportar sin que el disco patine.

4.3. Resortes elásticos (diafragma o muelles)

a)

b)



↑ **Figura 2.15.** a) Embrague de diafragma presionado por el collarín. b) Embrague de diafragma tirado por el collarín.

El resorte elástico (diafragma o muelle) es el elemento que ejerce la fuerza de empuje al plato de presión para presionar el disco y transmitir el giro.

El diafragma es un disco de acero en forma de cono al que se le han practicado unos cortes radiales. Al pisar el pedal del embrague, el collarín se desplaza para liberar el disco de la presión del diafragma y embragar. En la mayoría de embragues de diafragma, el collarín se desplaza para presionar el diafragma (figura 2.15 a). En algunos embragues el diafragma se encuentra montado de manera que el collarín necesita tirar del diafragma para liberar el disco y embragar, en estos modelos el collarín se encuentra acoplado al diafragma (figura 2.15 b). En las reparaciones del embrague con collarín tirado, la separación del cambio es más complicado y es necesario extraer el eje de la horquilla de empuje del collarín para poder separarlos.

Los vehículos con mucha potencia pueden no montar diafragma y emplean como elemento de empuje muelles helicoidales, repartidos por la periferia del plato de presión. Los muelles ejercen toda la fuerza de empuje que el embrague necesita para presionar el disco. El embrague de muelles dispone de tres patillas o palancas donde empuja el collarín; el reglaje y montaje es más complicado que en los embragues de diafragma (figura 2.10.).

4.4. Cubierta o carcasa del embrague

Es la pieza que sujeta exteriormente el plato de presión, sirve de alojamiento a los resortes elásticos del mismo y protege todos estos mecanismos. La carcasa del embrague está atornillada al volante motor girando solidaria con él (figura 2.16).

→ **Figura 2.16.** Carcasa del embrague y diafragma.

recuerda

El eje primario de la caja de cambios engrana el disco de embrague y gira sobre un casquillo o rodamiento situado en el cigüeñal.

4.5. El collarín de empuje

Es la pieza que oprime el centro del diafragma o las palancas basculantes que separan el plato (caso de resorte de muelles), consiguiendo despegar el plato de presión y desembragar el vehículo. Está constituida por una pequeña corona metálica que empuja un rodamiento que permite que gire sin dañar el diafragma o las palancas. Una horquilla desplaza todo el conjunto, cualquiera que sea su accionamiento (figura 2.17).

La horquilla se acciona por medio de mecanismos que, dependiendo del tipo de vehículo, pueden ser cables, varillas o bombines hidráulicos o neumáticos.

↑ **Figura 2.17.** Collarín de accionamiento mecánico.

4.6. Volante de inercia

El volante de inercia del motor, también forma parte del conjunto de embrague.

La cara exterior del volante es la superficie de contacto donde el disco asienta cuando se ejerce presión a través de la maza.

Esta superficie de contacto debe estar perfectamente lisa y libre de rayas e irregularidades.

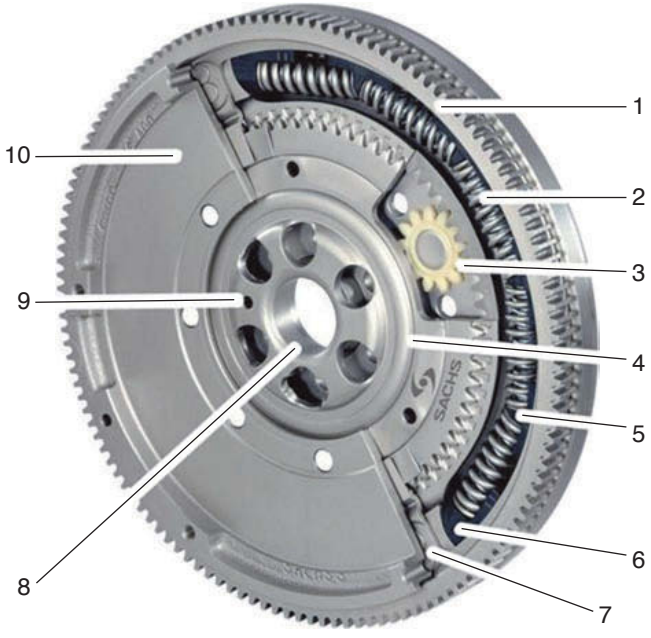
La corona dentada que engrana el piñón del motor de arranque, se coloca en el exterior del volante de inercia (figura 2.18).

↑ **Figura 2.18.** Volante de inercia con corona dentada.

En vehículos en los que se desea amortiguar al máximo las vibraciones del acoplamiento del embrague, se montan volantes de inercia bimasa (figura 2.19).

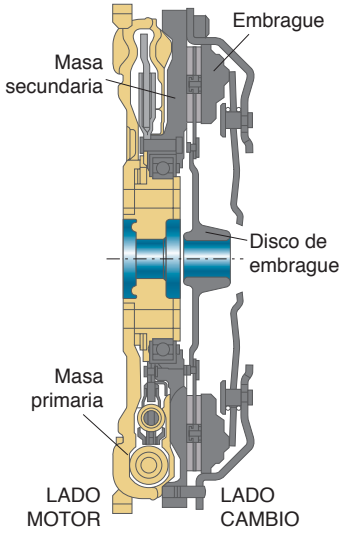
El volante bimasa (figura 2.20) está formado por una masa primaria fijada al cigüeñal y otra masa secundaria sobre la que se acopla el disco. La masa primaria soporta en su centro el rodamiento del eje primario del cambio, y en su periferia la corona dentada del arranque. Las dos masas forman un conjunto y se encuentran separadas por un mecanismo amortiguador, debidamente equilibrado y calculado, que permite un movimiento entre estas, amortiguando así las vibraciones.

Los discos que se emplean en estos embragues (figura 2.13) no necesitan el cubo amortiguador con muelles de progresión, esta función la realiza el volante bimasa.



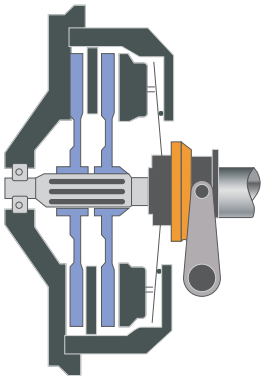
1. Volante motor primario
2. Resorte(s)
3. Rueda planetaria
4. Cojinete de fricción axial
5. Zapata de deslizamiento
6. Caja de resorte
7. Tapa aislante
8. Cojinete de fricción radial
9. Orificio para bloqueo de las masas
10. Volante motor secundario

↑ **Figura 2.19.** Volante de inercia bimasa y funcionamiento.



↑ **Figura 2.20.** Componentes del embrague bimasa.

5. Embrague bidisco

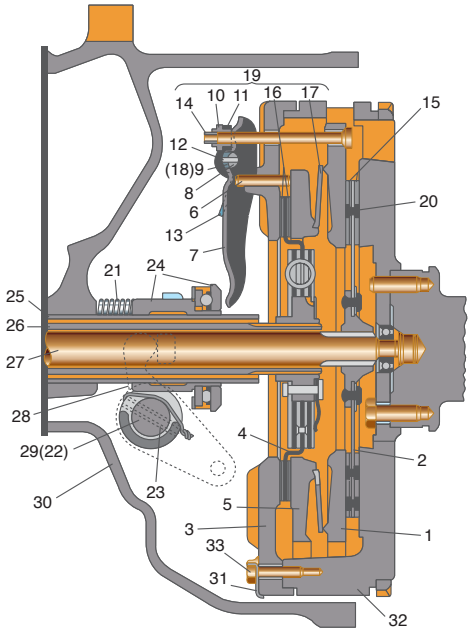


↑ **Figura 2.21.** Embrague bidisco.

En vehículos de mucha potencia y par, las dimensiones del embrague de un solo disco serían muy grandes. Lo ideal es el montaje de dos discos en seco en el mismo eje primario, con lo que se reducen las dimensiones y se evitan problemas constructivos y de diseño (figura 2.21).

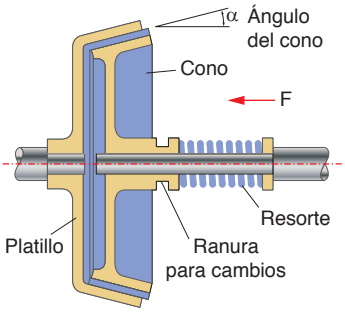
En vehículos agrícolas también se emplean dos discos o doble embrague, un disco engrana en el primario del cambio y el otro disco se engrana en el eje de transmisión de fuerza a la toma trasera TDF (figura 2.22).

El doble embrague se acciona desde el pedal y permite conectar la toma de fuerza sin desembragar la fuerza del motor. El pedal desembraga primero la toma de fuerza y pisando a fondo se desembraga el cambio.



1. Plato de presión delantero
2. Disco de embrague delantero
3. Plato de base
4. Disco trasero (embrague toma de fuerza)
5. Plato de presión trasero
6. Bulón de desembrague
7. Palanca de accionamiento (para ambos embragues)
8. Casquillos en el plato de base para el eje de la palanca
9. Eje de la palanca
10. Tuerca de ajuste
11. Casquillo distanciador
12. Pasador
13. Resorte antivibrador
14. Tornillos de tensión
15. Forro del disco de avance
16. Forro del disco de embrague de la TDF
17. Resorte de diafragma
18. Anillo de seguridad
19. Conjunto del embrague
20. Remache
21. Resorte de retirada
22. Casquillo
23. Pasadores
24. Cojinete de empuje
25. Tubo de deslizamiento
26. Eje hueco de la toma de fuerza
27. Eje de mando
28. Horquilla
29. Eje del embrague
30. Cárter del embrague
31. Chapa aseguradora del embrague
32. Volante
33. Tornillos

→ **Figura 2.22.** Sección de un embrague con dos discos, uno para la toma de fuerza trasera y otro para el cambio.



↑ **Figura 2.23.** Componentes del embrague de cono elemental.

6. Embrague por conos de fricción

Los embragues de cono no emplean disco interpuesto. Estos embragues disponen de dos piezas troncocónicas, una hembra y otra macho, que se acoplan por una fuerza de empuje *F*; la fricción entre las superficies igualará las velocidades de los ejes (figura 2.23).

Este tipo de embrague se ha empleado en camiones pequeños, actualmente se emplea en sincronizadores de cajas de cambios manuales y siempre bañados en aceite.

ACTIVIDADES

1. Calcula la potencia al freno (W_f) de un motor cuyo par a 3.000 rpm es de 200 Nm.

2. Calcula la fuerza de empuje máxima (F_e) que puede ejercer un plato de presión con ocho muelles de acero. Conocemos que, cuatro están marcados con rojo y ejercen una fuerza de 450 N y los otros cuatro, marcados en verde y ofrecen una fuerza de 400 N.

3. Calcula la fuerza transmitida (F_t) por un embrague monodisco sometido a una fuerza de empuje de 2.000 Nm. El embrague está fabricado en acero y tiene un coeficiente de adherencia de μ = 0,3.

7. Embrague multidisco bañado en aceite

Los embragues de fricción multidisco bañados en aceite emplean los mismos principios de funcionamiento que en los embragues de fricción en seco, pero hay que tener en cuenta que utilizan un fluido (aceite) que lubrica y refrigera el conjunto, a la vez que disminuye el rozamiento y aumenta la duración de los discos.

Un conjunto embrague está formado por:

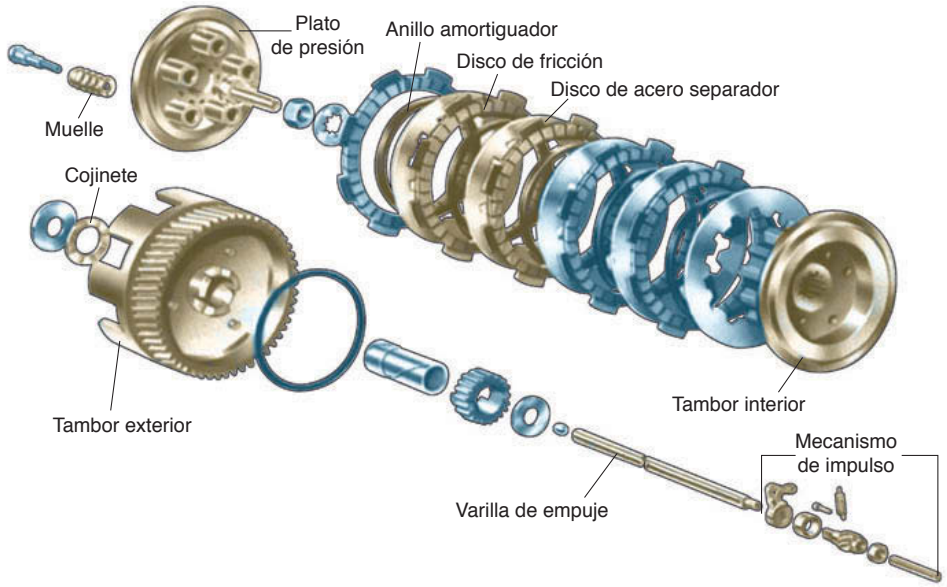
- Los discos engarzados en una carcasa, por donde se transmite el giro del motor (mediante cadena, engranajes, etc.).
- Láminas de acero (separadores) engarzadas en el árbol primario.
- Muelles empujadores, que someten todo el conjunto a la presión necesaria para mantener el embrague embragado (unidos los discos con las láminas de acero).

Los embragues multidisco permiten realizar las acoplamientos de manera suave y progresiva. El inconveniente principal es que no pueden transmitir elevado par, ya que el diámetro de los discos suele ser pequeño. En los vehículos que necesitan transmitir mucho par, como en el caso de los tractores agrícolas, se diseñan conjuntos de mayor diámetro y se les equipa con un circuito adicional de aceite para reforzar la lubricación y su enfriamiento.

En las motocicletas, el embrague multidisco bañado en aceite forma un conjunto compacto que está formado principalmente por: discos de fricción, discos de acero separadores, campana de embrague y muelles (figura 2.26).

↑ **Figura 2.24.** Discos y separadores de un embrague multidisco.

↑ **Figura 2.25.** Embrague multidisco desmontado.



↑ **Figura 2.26.** Despiece de un embrague multidisco.

Embrague multidiscos para cambio automatizado (DSG y Powershift)

Las cajas de cambio automatizadas (tipo DSG y Powershift) montan dos embragues multidisco de diferente diámetro, en disposición coaxial, insertados uno sobre otro y comandados por presión hidráulica desde la gestión hidráulica de la caja de cambios.

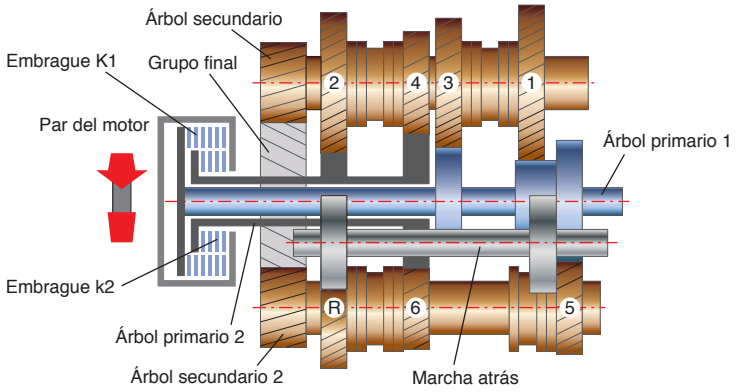
saber más

Cajas de cambio automáticas

Las cajas de cambio automáticas disponen de embragues bañados en aceite para permitir embragar y desembragar el enclavamiento de los elementos de los trenes epicicloidales.

El embrague exterior (K1) se encarga de la 1ª, 3ª y 5ª velocidad y marcha atrás mientras que el embrague interior (K2) se encarga de la 2ª, 4ª y 6ª velocidad (figura 2.27).

La transmisión del par se realiza por medio de los árboles primarios huecos, también insertados uno en otro. El árbol primario exterior está comunicado con el embrague K2 y el interior, con el embrague K1. La bomba de aceite del cambio se acciona a través de un tercer árbol alojado en el árbol primario interior.



↑ **Figura 2.27.** Doble embrague multidisco para cambio automatizado.

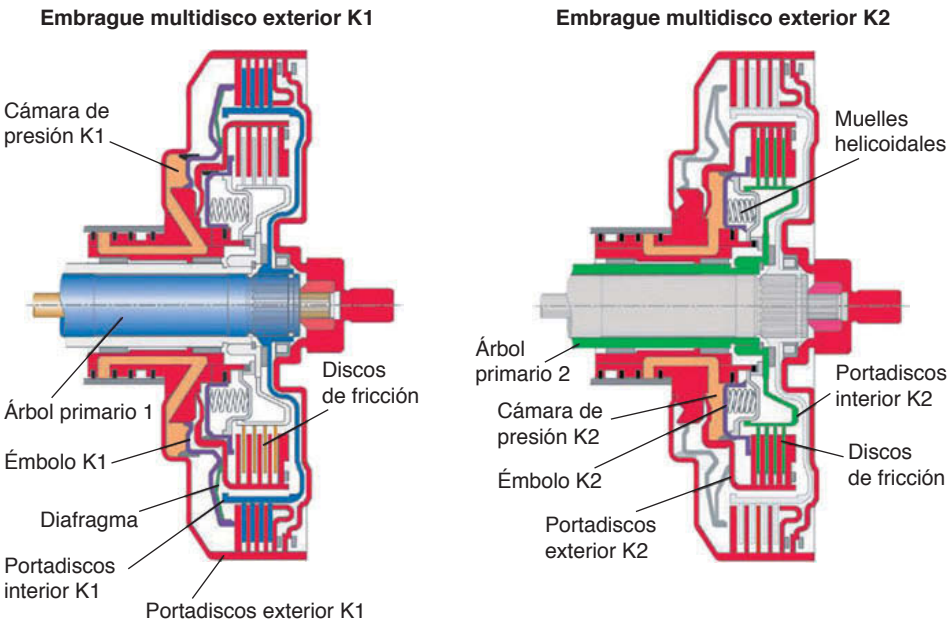
caso práctico inicial

Los vehículos con cambios DSG no tienen pedal de embrague. El accionamiento se realiza con un circuito hidráulico gestionado por el módulo electrónico de la caja de cambios.

Para cerrar el embrague exterior K1 (figura 2.28) es necesario que llegue presión de aceite desde el cubo de entrada a la cámara de presión K1. El resultado es que el émbolo K1 se desplaza y comprime el conjunto multidisco del embrague K1. El par se transmite a través del conjunto multidisco del soporte interior hacia el árbol primario 1.

Al cortar la presión hidráulica, el diafragma resorte oprime de nuevo el émbolo 1 a su posición inicial y el embrague deja de transmitir par. Cuando el embrague está accionado hidráulicamente, el par motor se transmite al árbol primario 1 que incluye los piñones de las marchas 1ª, 3ª, 5ª y marcha atrás.

El soporte de guarniciones del embrague exterior (K1) está unido al árbol de entrada 1 y el soporte del embrague (K2) al árbol de entrada 2 (figura 2.28).



↑ **Figura 2.28.** Conjunto con dos embragues bañados en aceite.

Este tipo de cambios con dos embragues realizan la transmisión de fuerza de forma continua sin interrupciones para realizar el cambio de velocidad. El cambio siempre tiene dos velocidades engranadas mecánicamente, por ejemplo 1ª y 2ª pero un solo embrague acoplado el K1, circulando en primera para cambiar de velocidad a 2ª, el módulo electrónico comanda las electroválvulas del circuito hidráulico que realizan el cruce de embragues, quitando la presión al embrague K1 y aumentando la presión del embrague K2 de forma progresivo y sin tirones.

La unidad de control del cambio DSG incorpora la electrónica de gestión y doce sensores, concretamente:

- Ocho sensores Hall, dos sensores de presión y dos de temperatura.

Mediante las señales procedentes de los sensores internos, de otros externos y con los datos procedentes de otros sistemas, la unidad de control determina la función que debe activar en cada momento excitando los actuadores correspondientes.

8. Accionamientos del embrague de fricción

El accionamiento del mecanismo del embrague de fricción puede realizarse de forma manual, el conductor pisa un pedal o tira de una palanca; o de forma automática, el conductor no acciona directamente el mecanismo, si no que el accionamiento se realiza de forma automática como ocurre en los cambios automatizados tipo DSG y Powershift.

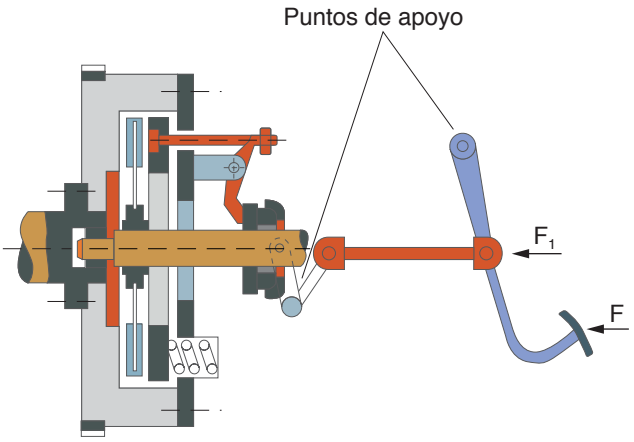
8.1. Accionamiento manual

El esfuerzo necesario para desplazar el mecanismo del embrague se realiza por el conductor, mediante diferentes sistemas de transmisión de fuerzas. En estos accionamientos se emplean varillas, cables y circuitos hidráulicos o neumáticos.

8.2. Manual por palancas y varillas

Este tipo de accionamiento es muy simple. Se utiliza en maquinaria agrícola principalmente. La fuerza necesaria para vencer los muelles o el diafragma en el embrague la realiza el conductor pisando un pedal que a través de varillas y por medio de distintas desmultiplicaciones de palancas consigue multiplicar la fuerza de accionamiento. La fuerza transmitida por el pedal depende de la longitud de las palancas con relación a sus puntos de apoyo (figura 2.29).

Un funcionamiento suave del sistema requiere un mantenimiento y engrase regular de las articulaciones y puntos de apoyo.



← **Figura 2.29.** Accionamiento de embrague por palancas.

saber más

Las válvulas de embrague se encargan de regular la presión hidráulica para embragar y desembragar en cada embrague. El módulo de gestión activa las electroválvulas empleando una señal eléctrica PWM (modulada en anchura de los impulsos).

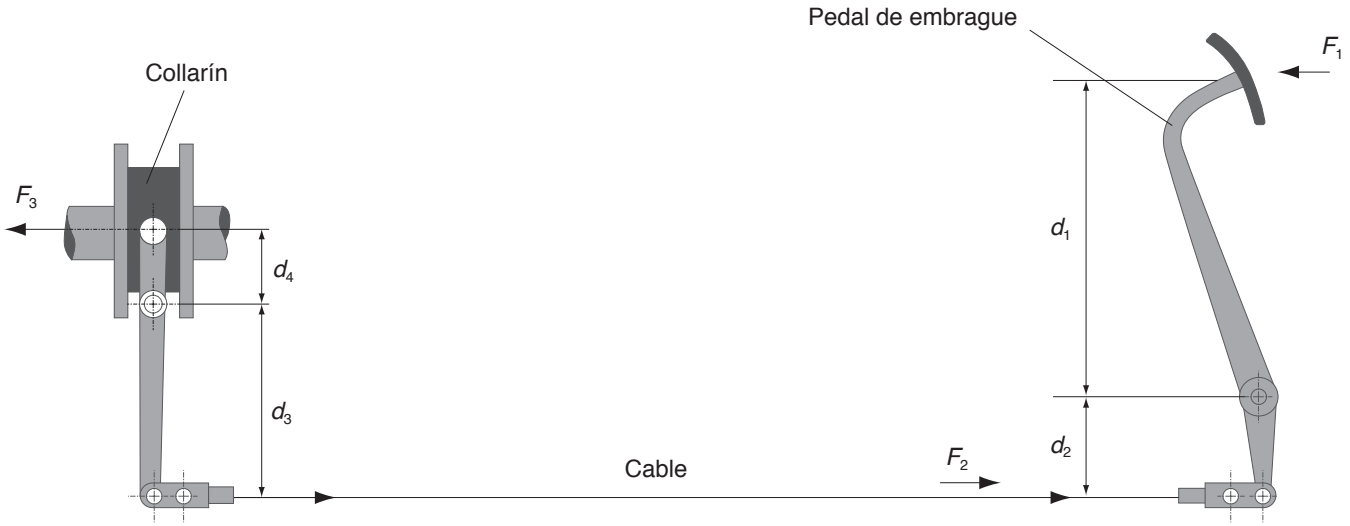
8.3. Accionamiento manual con cable

El accionamiento por cable es muy parecido al de palancas y varillas, con menos mantenimiento y más versátil y sencillo. Se utiliza con frecuencia en motocicletas y vehículos ligeros. El accionamiento por cable suprime todo el varillaje por un cable de acero que se desplaza por el interior de una camisa especial.

La fuerza de accionamiento se transmite desde la palanca que acciona el conductor (manilla o pedal), a través del cable, a la horquilla del embrague. Esta fuerza depende de la longitud entre los puntos de apoyo de la palanca y la relación de los puntos de apoyo de la horquilla «Ley de la palanca».

$F_1 \cdot d_1 = F_2 \cdot d_2$;

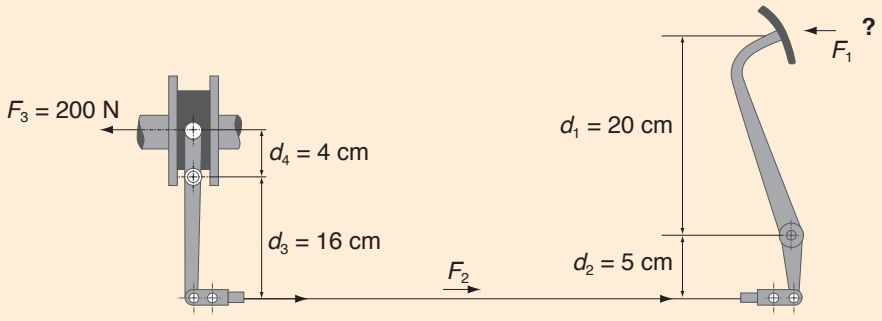
$F_2 \cdot d_3 = F_3 \cdot d_4$



↑ **Figura 2.30.** Accionamiento por cable y palancas.

ACTIVIDADES

4. Calcula la fuerza que se debe aplicar a un pedal de embrague con accionamiento por palancas y cable, para transmitir una fuerza en el collarín de empuje de 200 N.



↑ **Figura 2.31.**

5. Investiga empleando los manuales de reparación y otras fuentes, qué sistemas se emplean para realizar el ajuste y tensado del cable y del pedal de accionamiento del embrague en los automóviles y motocicletas.

8.4. Accionamiento hidráulico

El accionamiento con un collarín hidráulico (figura 2.32) permite realizar grandes esfuerzos en la maza de presión, con una pequeña fuerza en el pedal.

↑ **Figura 2.32.** Collarín hidráulico.

Se emplea un circuito hidráulico con una bomba que es accionada por el conductor a través del pedal de embrague y que transmite la presión hidráulica al bombín que empuja la horquilla del collarín (figura 2.33). En los automóviles modernos el propio collarín actúa como cilindro hidráulico.

La bomba y el bombín se unen por una tubería formando así un circuito hidráulico con un purgador para poder extraer el aire en las sustituciones del collarín.

La fuerza de accionamiento dependerá de las secciones de los émbolos de la bomba y el bombín y de sus palancas (pedal y horquilla).

La sección de los émbolos se calcula partiendo del diámetro de cada émbolo.

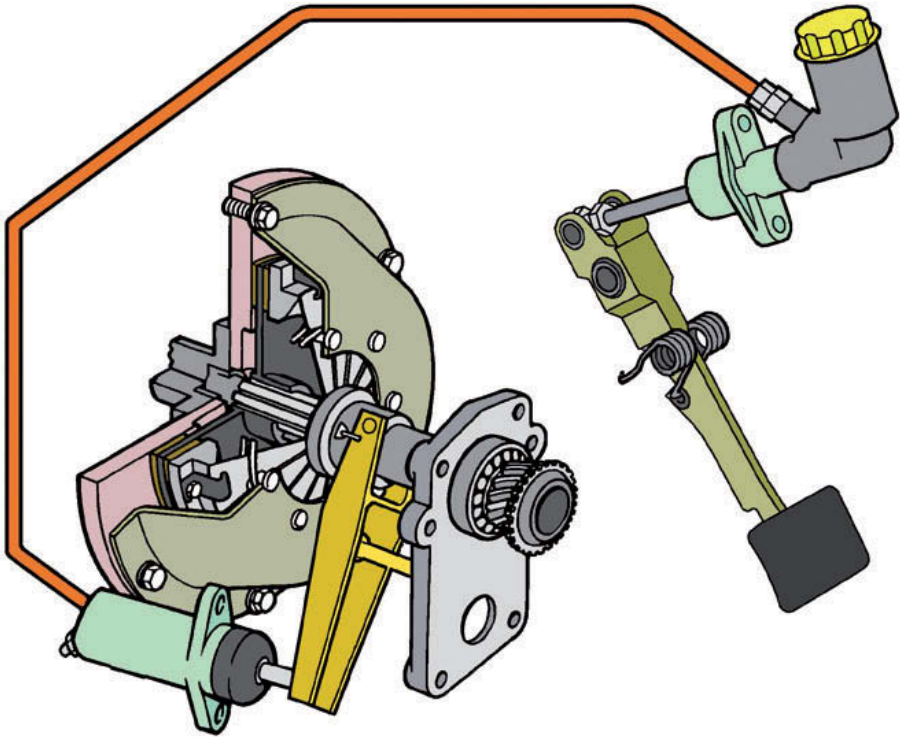
$$s = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \text{cm}^2$$

La presión generada en el circuito se obtiene:

Presión = $\frac{F}{s}$; y la fuerza $F = p \cdot s$

caso **práctico** inicial

El accionamiento hidráulico es el tipo de accionamiento más empleado en los vehículos actuales, es más preciso y fiable que el accionamiento por cable.



↑ **Figura 2.33.** Circuito hidráulico con cilindro de accionamiento.

saber más

Seguridad y tratamiento de residuos

El circuito hidráulico de los frenos y del embrague comparten líquido y depósito, se debe cambiar cada dos o tres años, se manipula con cuidado y empleando los EPI adecuados, gafas y guantes de nitrilo. El líquido usado se deposita en recipientes herméticos para ser retirados por un gestor autorizado.

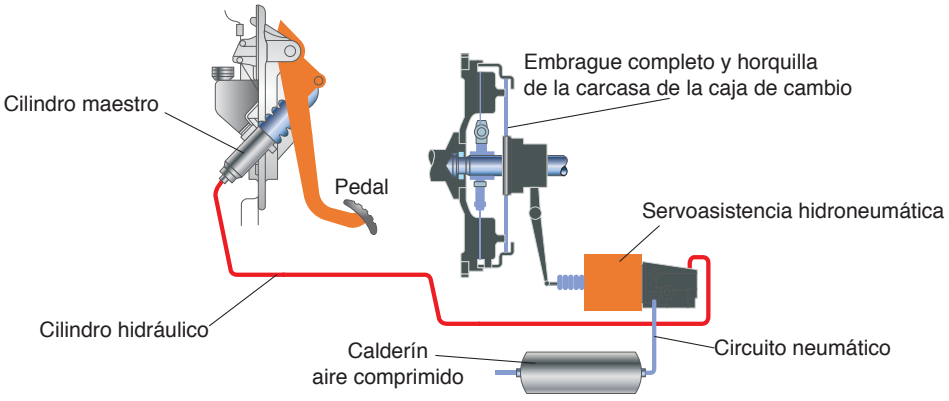
El líquido empleado en el circuito de accionamiento del embrague es el mismo líquido que el empleado en el circuito de frenos; es un líquido que ataca la pintura del vehículo. Como medida de seguridad personal se deben emplear guantes protectores para realizar las tareas de sustitución y purgado.

8.5. Accionamiento hidroneumático

↑ **Figura 2.34.** Accionamiento hidroneumático de un embrague de camión.

El accionamiento hidroneumático o mixto (figura 2.34) se emplea en vehículos con frenos neumáticos y en los que se necesita realizar un gran esfuerzo en el collarín de empuje para conseguir desembragar.

Este accionamiento dispone de un circuito neumático y otro hidráulico (figura 2.35), el circuito hidráulico se acciona desde el pedal del conductor y realiza el control del desplazamiento de la servoasistencia, la fuerza del accionamiento principal la realiza el circuito de aire comprimido, liberando al pedal de una parte importante de la fuerza del accionamiento.



→ **Figura 2.35.** Componentes del accionamiento hidroneumático.

EJEMPLOS

■ **Calcula la presión que se genera en el circuito de accionamiento de un embrague hidráulico, conociendo la fuerza que se ejerce sobre el émbolo de accionamiento, $F_1 = 200$ N y el diámetro del émbolo $Ø_1 = 2{,}5$ cm.**

Solución:

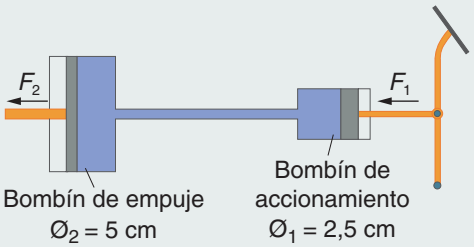
1. Calcular la superficie del émbolo de accionamiento.

$$S_1 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{3{,}14 \cdot 2{,}5^2 \text{ cm}}{4} = 4{,}9 \text{ cm}^2$$

2. Calcula la presión que genera la fuerza aplicada.

$$\text{Presión} = \frac{F_1}{S_1} = \frac{200 \text{ N}}{4{,}9 \text{ cm}^2} = 40{,}8 \text{ N/cm}^2 = 4{,}08 \text{ bar}$$

Teniendo en cuenta que $10 \text{ N/cm}^2 = 1$ bar.



↑ **Figura 2.36.**

■ **La presión que genera el émbolo de accionamiento en el circuito son 4,08 bar. Para conocer la fuerza que puede realizar el bombín de empuje, F_2, se deberá calcular su sección. El diámetro del bombín de empuje es de $Ø_2 = 5$ cm.**

Solución:

1. Calcula la superficie del émbolo de empuje:

$$S_2 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{3{,}14 \cdot 5^2 \text{ cm}}{4} = 19{,}62 \text{ cm}^2$$

2. Calcula la fuerza que genera la presión aplicada. Para ello, se transforma la presión en bar a N/cm^2 multiplicando la presión en bar por 10 N/cm^2.

   $4{,}08$ bar $= 40{,}8 \text{ N/cm}^2$, y por lo tanto:

$$F_2 = p \cdot S_2 = 40{,}8 \text{ N/cm}^2 \cdot 19{,}62 \text{ cm}^2 = 800{,}49 \text{ N} \simeq 80 \text{ daN} \simeq 80 \text{ kgf}$$

8.6. Accionamiento automático o pilotado

El accionamiento automático o pilotado se emplea actualmente en los vehículos con cambios automatizados o secuenciales, los vehículos con cambio automatizado no disponen de pedal de embrague, el desembragado para cambiar de velocidad se tiene que realizar igual que en los cambios manuales. El módulo de gestión del cambio decide el momento exacto de realizar el accionamiento del embrague para realizar el cambio de velocidad.

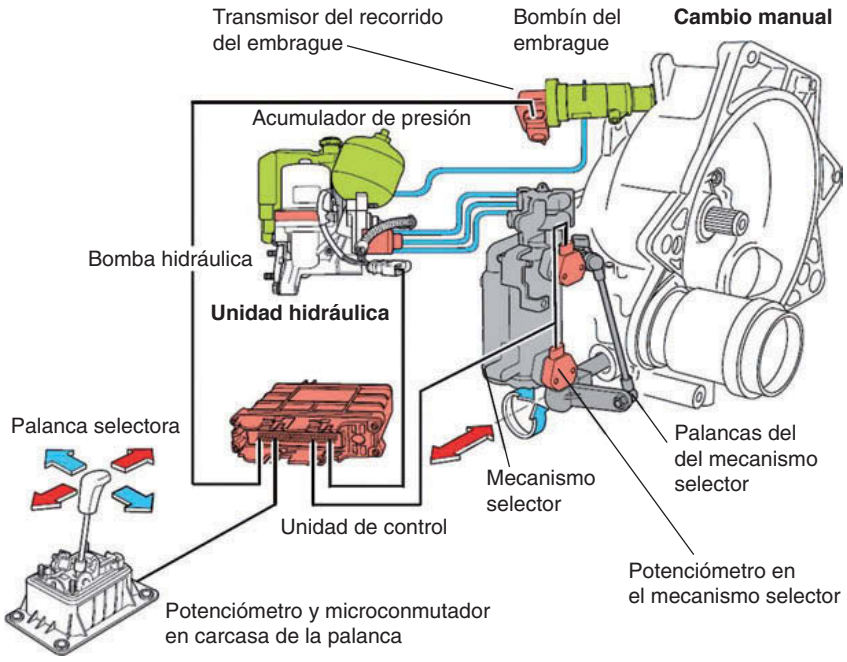
Los accionamientos automáticos empleados pueden ser de dos tipos:

- Accionamiento con motor eléctrico (figura 2.37).
- Accionamiento hidráulico (figura 2.38).

caso práctico inicial

Los vehículos con cambio automatizado no disponen de pedal de embrague, la conducción del vehículo es similar a la de un vehículo con cambio automático.

↑ **Figura 2.37.** Accionamiento eléctrico (fuente Peugeot).



↑ **Figura 2.38.** Accionamiento hidráulico (fuente Volkswagen).

El accionamiento automático con motor eléctrico (figura 2.37) se emplea en la caja pilotada MMT del Peugeot 107; el conjunto dispone de los siguientes componentes (figura 2.37):

1. Motor eléctrico encargado de realizar la fuerza de accionamiento.

2. Varilla de empuje.

3. Potenciómetro de la posición exacta del collarín.

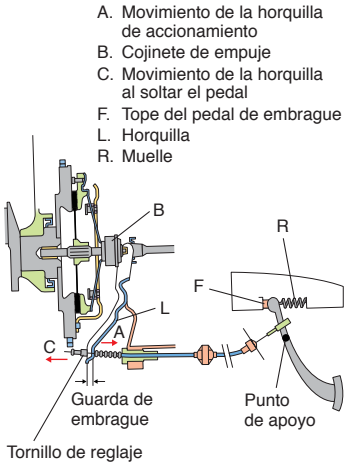
El accionamiento hidráulico de la fuerza de empuje sobre el collarín la realiza el bombín hidráulico que recibe el caudal desde el acumulador y la bomba de la unidad hidráulica (figura 2.38). En los dos sistemas, una unidad de control del cambio decide el momento exacto para realizar el embragado del embrague. Los dos accionamientos disponen de un captador de la posición exacta el collarín, para evitar los acoplamientos bruscos y los tirones del vehículo.

El calculador del cambio se encuentra conectado a través de la red Can Bus de datos con las otras unidades de gestión del vehículo (motor, ABS/ESP, etc.) para compartir todas las señales e información relevante para su funcionamiento.

saber más

Los vehículos que disponen de cambio automatizado con embragues con accionamientos eléctrico o hidráulico. Cuando se sustituye el disco del embrague o cualquiera de los componentes de su accionamiento, bombín o captador de posición del collarín, es necesario disponer de un equipo de diagnosis para realizar el ajuste básico de sus componentes.

9. Mantenimiento del embrague de fricción



↑ **Figura 2.39.** Reglaje del embrague.

El embrague no tiene un programa de mantenimiento específico, sino que se realiza paralelamente con el mantenimiento del vehículo. Los trabajos de mantenimiento que se realizan en el embrague son:

- Regular la tensión del cable o varillas de manera que el pedal disponga de un recorrido libre sin que se llegue a accionar el collarín (figura 2.39) y pisando a fondo el embrague quede desembragado totalmente. El reglaje se realiza empleando una llave fija girando el tornillo de reglaje (figura 2.40).
- Lubricar los ejes y articulaciones de mando a través de engrasadores.
- Cambiar el líquido del accionamiento hidráulico cada dos o tres años, igual que el líquido de frenos. Si el vehículo comparte los depósitos de las bombas, el cambio se realiza a la vez.
- En los embragues multidisco, el aceite y los filtros se deben sustituir anualmente o en el tiempo establecido por el fabricante. El aceite es el mismo que en la caja de cambios en los tractores agrícolas, y en las motocicletas es el mismo que el empleado en el motor.

9.1. Diagnóstico de averías

↑ **Figura 2.40.** Reglaje del cable de embrague.

El embrague es un mecanismo silencioso y muy fiable, pero el deslizamiento del disco sobre el volante y la maza de presión provoca un desgaste del material que recubre el disco (ferodo). En condiciones normales de trabajo, el disco de embrague puede durar unos 150.000 km, pero si se obliga al embrague a trabajar en condiciones extremas, por ejemplo, manteniendo el vehículo en pendientes con el embrague y patinando durante mucho tiempo, el disco se calienta excesivamente, cristalizándose y puede llegar a quemarse.

Las principales averías del embrague están provocadas por:

- El desgaste o cristalización del recubrimiento del disco.
- Regulación incorrecta del mecanismo de accionamiento.
- Roturas en elementos mecánicos.

Síntoma	Avería	Elemento dañado	Reparación
El vehículo no puede subir una pendiente y al acelerar aumentan las revoluciones del motor y el vehículo no se desplaza.	El embrague patina.	Forro del disco desgastado. Disco engrasado (pérdidas de aceite del motor).	• Sustituir el disco. • Sustituir el retén del cigüeñal. • Localizar otras pérdidas de aceite o fluidos del motor.
Ruidos al accionar el pedal.	Defecto en el collarín de embrague.	El rodamiento del collarín no tiene lubricación. Collarín deteriorado.	Sustituir el collarín.
Todas las velocidades rascan.	El disco no se desacopla al pisar el pedal.	Mala regulación del accionamiento, cable, varillas, elementos hidráulicos o neumáticos.	Regular el recorrido del pedal, para permitir desacoplar totalmente el disco.
El vehículo no transmite correctamente la potencia.	El embrague da tirones.	El dispositivo de desembrague presiona desequilibradamente. El embrague presiona torcido.	Sustituir el disco del embrague o el *kit* de embrague.

↑ **Tabla 2.1.** Tabla de las principales averías y reparaciones del embrague de fricción.

9.2. Reparaciones en el embrague de fricción

La reparación más frecuente en el embrague de fricción es la sustitución del conjunto del embrague por desgaste del kit de embrague (maza de presión, diafragma, disco y collarín). En los modelos con accionamiento por cable, se realiza el reglaje y la sustitución del conjunto.

El proceso de sustitución de un *kit* de embrague es sencillo, pero laborioso a la vez. La complicación radica en las numerosas piezas que hay que desmontar hasta acceder al conjunto del embrague. En la sustitución debemos determinar los elementos en mal estado y estudiar la conveniencia de la sustitución de todos los elementos o de solo los defectuosos. Para entender el proceso, se detallarán paso a paso las pautas o claves para realizar correctamente la sustitución y el posterior reglaje del embrague.

Ejemplo de proceso de trabajo

1. Buscar el manual del fabricante o en su defecto el manual de reparaciones e identificar el modelo teniendo en cuenta las características del motor, del cambio y del propio embrague.

Por ejemplo:

El modelo Renault 21 GTD con la caja de cambios NG9 monta el embrague 200 CP 3.500, y el modelo Renault 21 TDX con la caja de cambios NG9 monta el embrague 215 DT 4.900. Estos dos últimos modelos son similares y montan la misma caja de cambios (NG9), pero sin embargo con un embrague diferente.

↑ **Figura 2.41.** Centrador de embrague.

	21 GTD	21 TDX
Modelo de caja de cambios	NG9	NG9
Modelo del disco	200 CP 3500	215 DT 4900
Diámetro exterior del disco	200 mm	215 mm
Espesor del disco	7,7 mm	6,8 mm

↑ **Tabla 2.2.** Tabla comparativa entre embragues para un mismo cambio.

↑ **Figura 2.42.** Mecanismo corrector del desgaste del disco.

2. Una vez identificado el tipo de embrague, antes de desmontarlo, es conveniente localizarlo en la sección de recambios.

También se deben seleccionar las herramientas específicas para este trabajo, centrador del disco figura 2.41, útiles específicos, etc.

3. Seguir el orden de desmontaje y montaje que indique el fabricante teniendo en cuenta los pares de apriete de los tornillos y verificar el correcto funcionamiento de los mecanismos de accionamiento y de sus cotas en el desplazamiento.

4. En los embragues que disponen de mecanismo corrector del desgaste del disco (figura 2.42), al sustituir el disco gastado por uno nuevo se debe situar el mecanismo corrector del desgaste en la posición de disco nuevo, empleando la punta de un destornillador (figura 2.43).

↑ **Figura 2.43.** Posicionar el mecanismo corrector de desgaste.

9.3. Verificación de los componentes

Tras el desmontaje, se deben comprobar y verificar todos los componentes que forman el conjunto y determinar qué pieza o componente se debe sustituir.

Verificación del disco de embrague

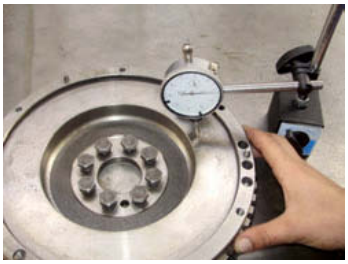
- Comprobar el estriado de posicionamiento del eje del cambio y el mecanismo de progresión (muelles o diafragma).

↑ **Figura 2.44.** Medida del espesor del disco con calibre.

- Comprobar el desgaste del espesor del recubrimiento de fricción (figura 2.44), sustituir cuando el desgaste sea superior al recomendado por el fabricante o si el material de fricción está engrasado. Evitar que el desgaste sea tan elevado que los remaches del disco rocen con el volante de inercia o el plato de presión.
- Comprobar el alabeo del disco con un reloj comparador (máxima oscilación 0,02 mm).

Verificación del volante de inercia y del rodamiento de apoyo del primario

- En el volante de inercia, comprobar que la superficie de ataque del disco no presenta rayaduras ni desgastes irregulares (figura 2.45), en caso de presentarlos, se debe sustituir o rectificar.
- En el rodamiento de apoyo del primario comprobar que gira suavemente y sin ruidos; en caso de tener dudas, se debe sustituir.



↑ **Figura 2.45.** Comprobación de la superficie de apoyo del volante de inercia.

Verificación de la maza o plato de presión (diafragma o muelles) y collarín

- La maza de presión se verifica comprobando que la superficie de ataque del disco no presenta ralladuras ni desgastes irregulares, ambos tienen que estar perfectamente lisos y perpendiculares al eje primario.
- En el diafragma comprobaremos la conicidad y elasticidad del mecanismo, así como la zona de ataque del collarín con el diafragma que se desgasta con el uso (figura 2.46). La superficie de contacto de la maza con el disco debe encontrarse sin ralladuras ni desgastes por calentamiento excesivo (figura 2.47).

  Para comprobar que el diafragma está en condiciones, se monta todo el conjunto (disco, maza y diafragma); se apuntan los tornillos de fijación del conjunto sobre el volante de inercia y se mide la separación que existe entre el volante y la carcasa de la maza; esta separación tiene que ser superior a 4 mm.
- Para la comprobación de los muelles se utiliza un dinamómetro apropiado, se comprimen y se mide la fuerza que realizan (newton). En su comprobación, tomaremos como referencia una misma distancia de compresión con todos ellos, por ejemplo 10 mm.
- En este mecanismo, se debe comprobar que gira sin producir ruidos y con suavidad.

  Los anclajes de la horquilla deben estar en correcto estado y libres de desgastes y roturas.

↑ **Figura 2.46.** Zona de ataque del collarín desgastada.

Verificación y reparación en los mecanismos de accionamiento

Las verificaciones que se realizan en estos mecanismos se centran en la observación y corrección de deformaciones irregulares y en la pérdida de líquidos.

Las reparaciones dependen del tipo de accionamiento. En mandos por palancas y cables, la reparación más frecuente es la sustitución del cable y de la camisa o el ajuste de holguras y recorrido del pedal.

En mandos hidráulicos o hidroneumáticos, las reparaciones más frecuentes son las siguientes: pérdidas de líquido por retenes o la sustitución de los elementos de bombeo y la purga de burbujas de aire en el circuito.

En los embragues con accionamiento automático, el circuito hidráulico se gestiona y comanda con la unidad de control electrónica. Los equipos de diagnosis permiten leer la memoria de averías y realizar el ajuste básico de los componentes.

↑ **Figura 2.47.** Maza de presión con zonas desgastadas y recalentadas.

10. Embrague hidráulico

El embrague hidráulico es un mecanismo automático que permite acoplar y desacoplar el par del motor a la caja de cambios, sin que el conductor actúe sobre ningún pedal. El acoplamiento del embrague se realiza a medida que el motor aumenta las revoluciones por minuto. Este tipo de embragues no se pueden montar en cajas de cambios manuales, pues al no poder desacoplarlo a voluntad del conductor, no es posible realizar el cambio de marchas.

Los embragues hidráulicos se montan: en las primeras cajas de cambios automáticas en vehículos clásicos y en los vehículos industriales en el freno hidroneumático.

10.1. Funcionamiento del embrague hidráulico

El embrague hidráulico transmite el movimiento y el par motor a través de la fuerza que ejerce la circulación de un fluido (aceite) entre una bomba y la turbina.

La bomba de embrague está unida al volante de inercia, y la turbina, al eje primario de la caja de cambios formando un conjunto cerrado en el que se encuentra interiormente aceite.

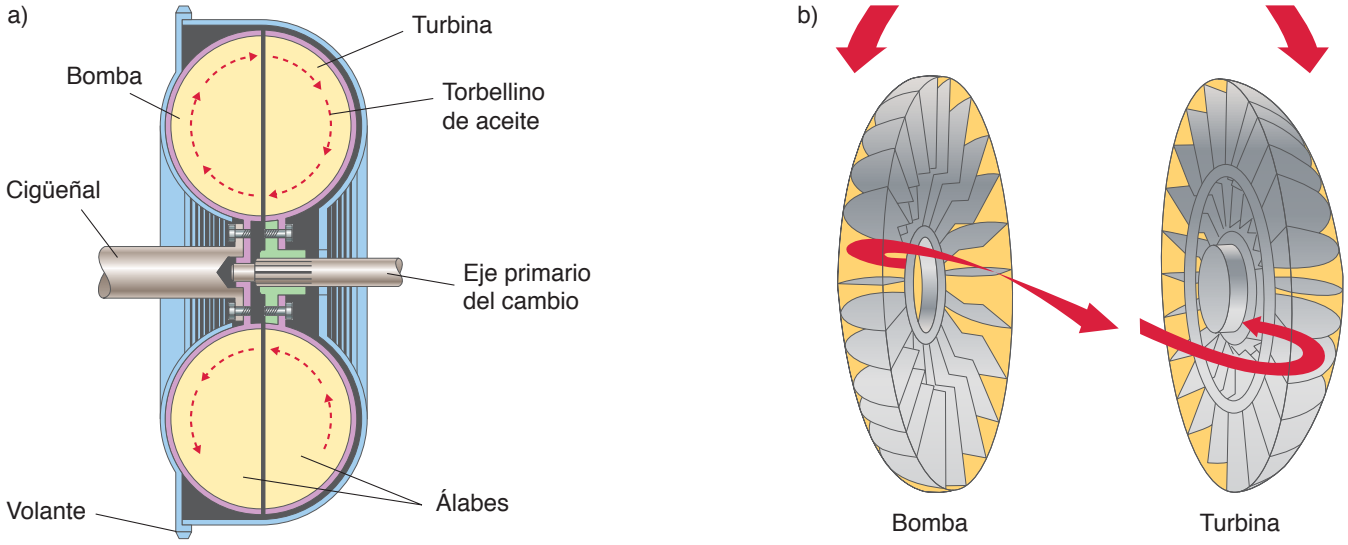
Al girar el volante de inercia, este transmite el movimiento a la bomba que impulsa el aceite contra la turbina (figura 2.48 a). Cuando el número de revoluciones de la bomba es bajo, el aceite impulsado choca contra los álabes de la turbina con una fuerza insuficiente para desplazar el vehículo. Si aumentamos las revoluciones del motor, la bomba impulsará el aceite con más fuerza hasta conseguir girar la otra mitad del embrague, la turbina, al encontrarse engranada al eje de entrada de la caja de cambios, transmitirá el giro y el par motor hasta la caja de cambios, para seguir la cadena cinemática y terminar en las ruedas.

Los álabes de la bomba y de la turbina tienen un diseño que permite al aceite retornar a la bomba una vez impulsada la turbina. Estos forman un torbellino tórico que se hace cada vez mayor a medida que aumenta el número de revoluciones de la bomba (figura 2.48 b).

saber más

Relación bomba-turbina

La corriente de aceite entre la bomba y la turbina solo se podrá transmitir mientras la bomba gire a mayor velocidad. Si el número de revoluciones entre la bomba y la turbina se igualan, se interrumpe el flujo de aceite y, por tanto, no se transmite par desde la bomba hasta la turbina.



↑ **Figura 2.48.** a) Componentes del embrague hidráulico. b) Flujo de aceite.

saber más

Aceite del embrague hidráulico

El aceite empleado por el embrague hidráulico es el mismo que el que emplea la caja de cambios, aceite especial de cambios tipo ATF. El eje del primario dispone de las canalizaciones de entrada y salida del aceite.

El número de álabes de la bomba es inferior al de la turbina, evitando así las vibraciones que se producirían en el embrague por la interrupción de movimiento del aceite.

Durante el funcionamiento, siempre existe un resbalamiento entre la bomba y la turbina, pero cuando las revoluciones del motor consiguen desplazar la turbina y transmitir íntegramente el par motor, el deslizamiento no supera el 2% y el par motor se transmite invariable, ni aumenta ni disminuye.

El resbalamiento (s) viene dado por la relación entre el número de revoluciones de la bomba y el de la turbina. El resbalamiento indica la pérdida de revoluciones, en tanto por ciento, que se produce durante la transmisión de par desde la bomba hasta la turbina.

$$s = 100\% \cdot \left(1 - \frac{n_t}{n_b}\right) = \%$$

n_t = nº de rpm de la turbina

n_b = nº de rpm de la bomba

El embrague hidráulico se ha empleado en los primeros vehículos con cambio automático sin gestión electrónica, en los modelos americanos y principalmente con la caja de cambios Hidra-matic.

EJEMPLO

Calcula el resbalamiento, en porcentajes de un embrague hidráulico. La turbina gira a 2.500 rpm y transmite el movimiento a la caja de cambios; la bomba que está impulsada por el motor gira a 3.000 rpm.

Solución:

Sustituye valores de la fórmula

$$s = 100\% \cdot \left(1 - \frac{n_t}{n_b}\right) = 100 \cdot \left(1 - \frac{2.500}{3.000}\right) = 100 \cdot (1 - 0{,}83) = 100 \cdot 0{,}17 = 17$$

$s = 17\%$

El embrague en las condiciones de marcha del ejemplo tiene un resbalamiento del 17%.

ACTIVIDADES

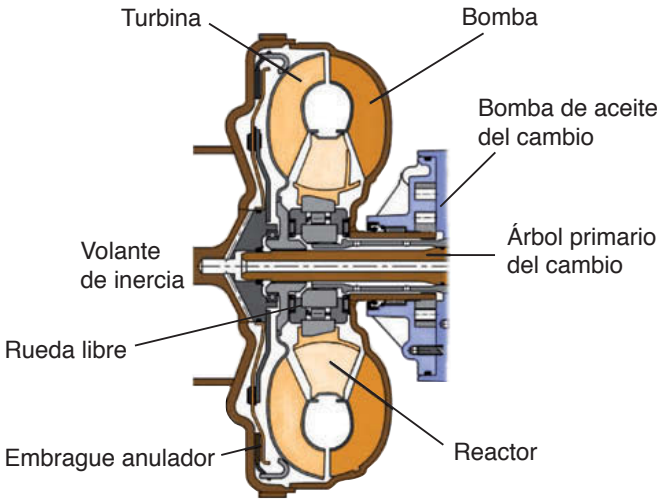
6. Calcula el resbalamiento de un embrague hidráulico en el que la turbina gira a 4.000 rpm y el motor está girando a 4.300 rpm.

7. Calcula el resbalamiento de un embrague cuando el motor gira a 5.500 rpm y la turbina de salida también gira a 5.500 rpm. Razona tu respuesta.

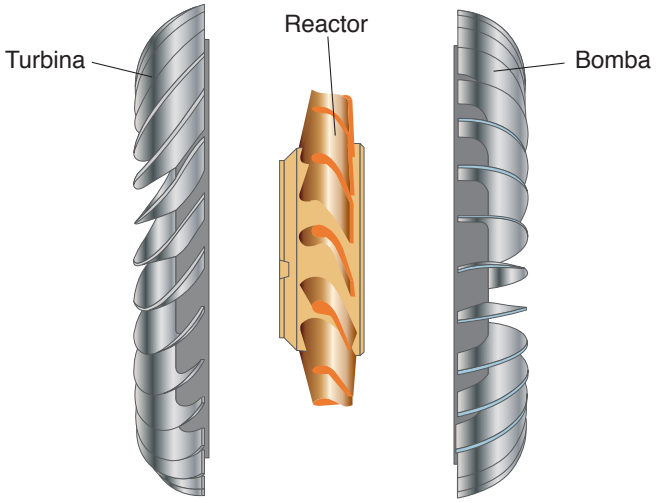
11. Convertidor de par

El convertidor de par es básicamente un embrague hidráulico perfeccionado y mejorado. El convertidor de par aprovecha las ventajas del embrague hidráulico, suavidad y progresión potenciando su eficacia con la incorporación de dos componentes adicionales: entre la bomba y la turbina «el reactor» y el «embrague anulador» que elimina las pérdidas por resbalamiento del convertidor (figura 2.49).

Esta mejora en el rendimiento (multiplicador de par) se consigue con la incorporación del reactor y un diseño especial de los álabes, en forma helicoidal, de la bomba y de la turbina (figura 2.50).



↑ **Figura 2.49.** Componentes del convertidor de par.



↑ **Figura 2.50.** Despiece del convertidor de par.

El convertidor de par también es el encargado de girar la bomba hidráulica del cambio automático, sin giro de la bomba no hay caudal ni presión hidráulica en el cambio, sin presión el convertidor de par no se puede realizar la recirculación de aceite por el intercambiador para enfriarse. Los convertidores de los vehículos modernos disponen de un embrague de fricción bañado en aceite para anular el convertidor y transmitir todo del par motor sin resbalamientos, el embrague anulador también se acciona con la presión hidráulica generada por la bomba de aceite del cambio. El convertidor dispone de unas orejetas para accionar la bomba (figura 2.51), en algunos modelos se sustituyen las orejetas por dos rebajes sobre el eje del convertidor (figura 2.52).

En los procesos de montaje de la caja automática al convertidor, es necesario encajar las orejetas en los huecos de la bomba.

↑ **Figura 2.51.** Orejetas de accionamiento de la bomba.

↑ **Figura 2.52.** Rebaje del eje del convertidor.

caso práctico inicial

El convertidor de par con embrague anulador se monta en la mayoría de vehículos que disponen de cambio automático.

El convertidor es un mecanismo hidráulico que, dependiendo de las revoluciones a las que gire, puede funcionar en tres etapas o fases de trabajo:

- En la primera etapa con el motor al ralentí, el flujo del aceite desde la bomba hasta la turbina no consigue girar la turbina, el aceite resbala y no se transmite par desde el motor hasta el cambio, el convertidor actúa como un embrague, desacoplando la fuerza del motor al cambio.
- En la segunda etapa, al acelerar el motor, el flujo de aceite desde la bomba aumenta consiguiendo girar la turbina y transmitir par a la caja de cambios, en esta fase actúa el estator, el convertidor es capaz de multiplicar hasta por tres el valor del par motor que recibe.
- En la tercera etapa, a medida que aumenta el número de revoluciones del motor, el convertidor reduce su factor multiplicador, el estator no actúa, igualando la salida del par con el par que recibe, relación de transmisión 1:1. En esta etapa, el convertidor se comporta como un embrague hidráulico, transmitiendo hasta el 98% del giro del motor y un 2% de resbalamiento aproximadamente.

Las ventajas que ofrece el convertidor de par con respecto al embrague hidráulico han generalizado su empleo en todos los modelos equipados con cambio automático.

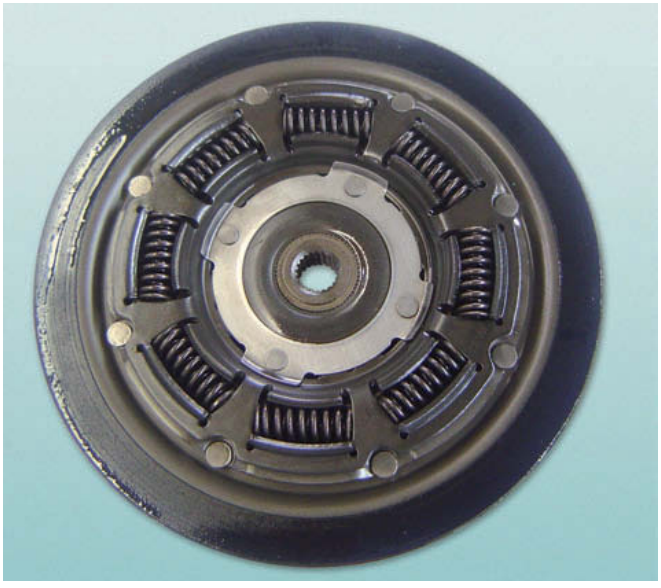
En Estados Unidos, la mayoría de los automóviles se equipan con convertidor de par y cambio automático, mientras que en Europa y España, el convertidor de par y el cambio automático están limitados a automóviles de gran cilindrada y maquinaria agrícola e industrial.

11.1. Componentes del convertidor de par

El convertidor está formado por un recipiente estanco, lleno de aceite «ATF» en su interior y con los siguientes elementos constructivos:

- Una bomba impulsora del aceite.
- Una turbina receptora del aceite.
- Un reactor, entre la bomba y la turbina, que canaliza el aceite en el interior.
- Un embrague anulador.

↑ **Figura 2.53.** Conjunto convertidor (turbina, reactor y bomba).



↑ **Figura 2.54.** Embrague anulador y muelles de progresión.

La bomba del convertidor se encuentra unida solidariamente al volante de inercia por medio de la carcasa del convertidor y gira al mismo número de revoluciones que el motor.

La bomba es la encargada de impulsar el aceite contra la turbina. La turbina está engranada en el eje de entrada de la caja de cambios o eje de la turbina. Esta recibe el aceite impulsado por la bomba a través de sus álabes que la obligan a girar.

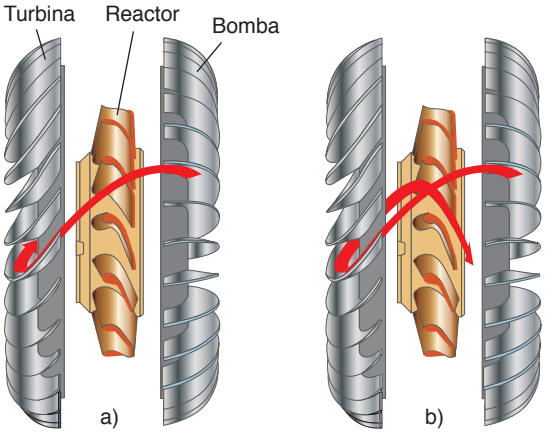
El reactor o estator (figura 2.53) está montado entre la bomba y la turbina engranado en un eje estriado y fijo, el estator también dispone de un mecanismo de rueda libre que le permite girar libremente cuando la velocidad de giro de la bomba y la turbina se aproximan (nunca se llegan a igualar).

En el funcionamiento del convertidor de par, la corriente de aceite de la bomba es enviada a las palas de la turbina, entregándole así su energía (figura 2.56 a).

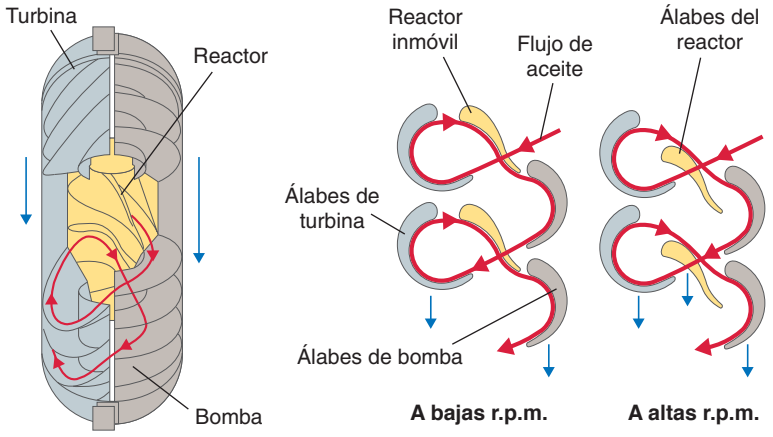
Desde la turbina, el aceite se devuelve a la bomba, chocando en el retorno del aceite contra el reactor que se encuentra fijo, aprovechando la energía que dispone el flujo de aceite, función multiplicadora del par, el aceite es desviado y canalizado nuevamente hacia la bomba (figura 2.56 b).

Al aumentar el número de revoluciones de la bomba, el aceite, en su retorno a la turbina, no choca contra el reactor y la función del reactor queda anulada, el reactor gira libremente gracias al mecanismo de rueda libre (figura 2.57) la transmisión del par se acerca a 1:1.

↑ **Figura 2.55.** Reactor montado sobre una rueda libre.



↑ **Figura 2.56.** Funcionamiento hidráulico.



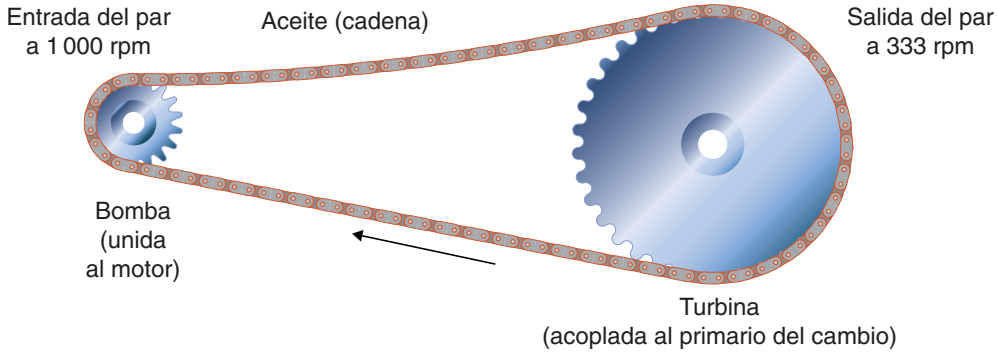
↑ **Figura 2.57.** Posicionamiento del reactor a distintas r.p.m.

11.2. Funcionamiento en fase de multiplicador del par

En las fases de trabajo en que la bomba gira más rápido que la turbina, el convertidor actúa en primer lugar como embrague desacoplando la transmisión de giro del motor a la caja de cambios, y a medida que aumentan las revoluciones del motor y la bomba, el convertidor trabaja multiplicando el par del motor de una manera similar a la transmisión por piñones y cadena (figura 2.58) el aceite realiza la misión de la cadena.

El aceite es impulsado por los álabes de la bomba y choca contra los álabes de la turbina que inicia su movimiento. Gracias al diseño helicoidal de los álabes y a la canalización del retorno del aceite por medio del reactor, se evitan los choques inútiles del aceite contra las paredes de la turbina y se consigue que el aceite retorne nuevamente con fuerza hasta la bomba, el aceite retornado supone un par adicional que sumado al que el motor aplica a la bomba, consigue multiplicar el par transmitido en la turbina y en el primario del cambio.

El par transmitido aumenta en la misma proporción que disminuyen las rpm en la salida del par en la turbina al cambio.
El par se multiplica por tres.



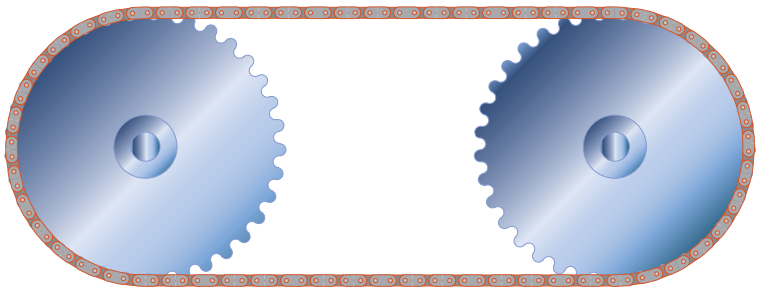
↑ **Figura 2.58.** Símil del funcionamiento del convertidor con el piñón con cadena.

11.3. Funcionamiento como transmisor de par

recuerda

La turbina no puede girar a la misma velocidad que la bomba. Si esto ocurre, se interrumpiría el flujo de aceite y se detendría el funcionamiento del convertidor, la turbina siempre se queda atrás y gira a menos revoluciones, este efecto se conoce como resbalamiento.

Cuando el motor se encuentra revolucionado, la bomba gira a la misma velocidad que el motor, impulsando el aceite con fuerza contra la turbina, consiguiendo que la turbina gire a una velocidad aproximada a la bomba; en este caso, el convertidor de par se comporta como un embrague hidráulico y transmite el par con una relación aproximada de 1:1 (figura 2.59). El resbalamiento del convertidor impide la relación de 1:1.



↑ **Figura 2.59.** Transmisión de movimiento 1:1. El aceite actúa como la cadena.

11.4. Embrague anulador del convertidor de par

El convertidor de par funciona mediante el principio del embrague hidrodinámico, es decir, según una diferencia de regímenes entre la bomba y la turbina. Esta diferencia está motivada por el patinaje o resbalamiento del convertidor.

El embrague anulador elimina el resbalamiento del convertidor de par de una forma controlada. El módulo de gestión del cambio decide el momento exacto en el que el embrague se acopla y anula o puentea el convertidor, evitando las pérdidas de velocidad que provoca el resbalamiento del convertidor. El acoplamiento se realiza con una determinada temperatura de funcionamiento (aproximadamente 40 °C).

ACTIVIDADES

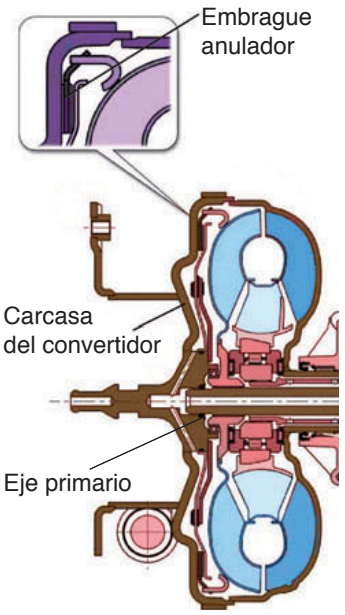
8. Busca en internet o en revistas técnicas vehículos que equipen embragues hidráulicos y/o convertidores de par y realiza un croquis del conjunto.

9. Calcula el resbalamiento, en tanto por ciento, de un convertidor de par cuya bomba gira a 5.750 rpm y su turbina, a 5.577,5 rpm.

El embrague anulador es un embrague de fricción engranado a la salida de fuerza del cambio, el embrague recibe el movimiento del convertidor desde su carcasa (figura 2.46). Permite tres estados de funcionamiento:

- Embrague abierto.
- Embrague en ciclo de regulación.
- Embrague cerrado (anulación del convertidor).

Al cerrarse el embrague anulador se transmite el par del motor íntegro sobre la rueda de la turbina y se anula el convertidor, ganando el 2% del resbalamiento.



↑ **Figura 2.60.** Embrague anulador del convertidor de par.

11.5. Alimentación de aceite en el convertidor de par

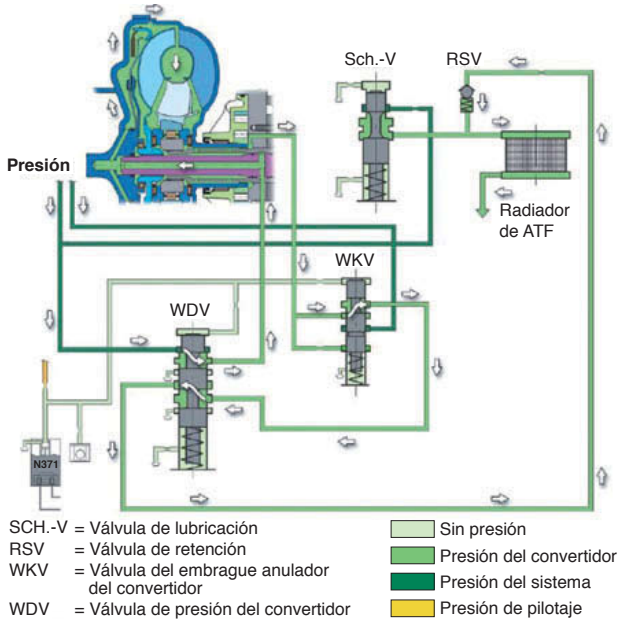
La alimentación de aceite del convertidor de par se realiza de manera continua a través de un circuito hidráulico alimentado por una bomba de engranajes, la alimentación de aceite realiza dos funciones: acoplar el embrague anulador y enfriar el aceite.

En estado abierto se encuentra equilibrada la presión del aceite ATF por ambos lados del émbolo del embrague anulador (figura 2.61). El aceite fluye de la cámara de émbolo, pasando por el disco guarnecido y las superficies friccionantes hacia la cámara de turbina.

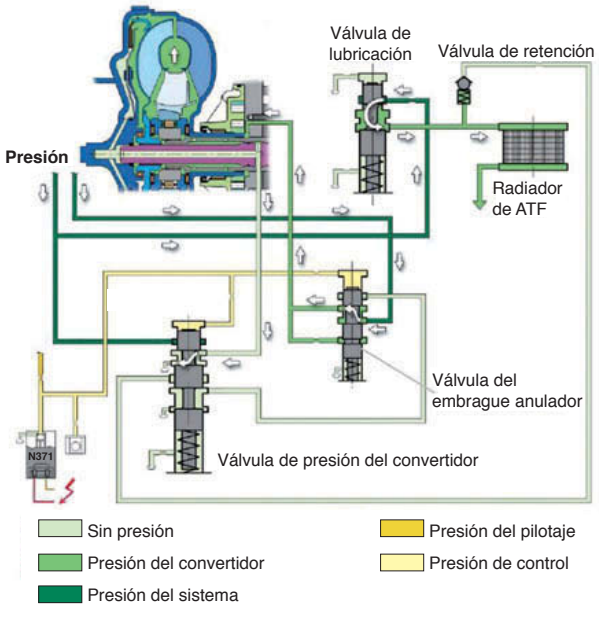
Para cerrar el embrague se procede a invertir el sentido de flujo del ATF a base de excitar la válvula de presión y la válvula del embrague anulador del convertidor (figura 2.62). La presión del aceite se degrada en la cámara de émbolo. La presión en el convertidor actúa ahora por el lado de turbina del émbolo del embrague, con lo cual el embrague se cierra.

Para realiza el acoplamiento del embrague el módulo de gestión del cambio recurre a los siguientes parámetros:

- Régimen y par del motor.
- Régimen de la turbina.
- Régimen de salida.
- Temperatura.
- Régimen de marcha.



↑ **Figura 2.61.** Embrague anulador abierto (fuente Audi).



↑ **Figura 2.62.** Embrague anulador cerrado (fuente Audi).

↑ **Figura 2.63.** Intercambiador refrigerante-aceite del cambio automático AG4.

El aceite del convertidor realiza la transmisión de la energía entre la turbina y la bomba y la turbina, el aceite por tanto está trabajando de forma permanente y cada vez se calienta más. Para evitar el calentamiento excesivo del aceite, la caja de cambios dispone de un enfriador del aceite (figura 2.63). El enfriador o intercambiador mantiene el aceite a la temperatura de funcionamiento, evitando calentamientos excesivos.

11.6. Averías y reparaciones del embrague hidráulico y del convertidor de par

Los embragues hidráulicos y los convertidores de par que no disponen de embrague anulador se caracterizan por su poco mantenimiento, sustituir el aceite y el filtro del cambio principalmente. Tampoco tienen reparación, normalmente los convertidores se encuentran soldados y los fabricantes no recomiendan su reparación.

En los convertidores de par que disponen de embrague anulador, que actualmente son casi todos los montados en los nuevos vehículos, el embrague es de fricción y con el tiempo se desgasta la superficie de rozamiento y provoca vibraciones.

Síntoma	Avería	Reparación
Excesivo resbalamiento.	• Falta de aceite. • Entradas indebidas de agua. • Aceite en mal estado. • Excesiva temperatura del aceite. • Avería o fallo del *software* de control del cambio.	• Cambio de aceite por otro de calidad y densidad adecuada. • Comprobar el nivel del aceite. • Mal funcionamiento del sistema de refrigeración de aceite. • Consultar memoria de averías o bloques de valores (según fabricante).
Excesivo arrastre al ralentí.	• Aceite más denso de lo debido. • Exceso de nivel de aceite.	• Cambio de aceite por otro de calidad y densidad adecuada. • Nivel adecuado.
Fugas de aceite.	• Mal estado del retén a la salida de la caja de cambios. • Juntas de estanqueidad deterioradas.	• Sustitución del retén o cambio de juntas de estanqueidad y sellado, en caso de ser un convertidor desmontable.
Vibraciones al solicitar potencia.	• Embrague anulador patina. • Filtración de glicol del refrigerante al aceite del cambio.	• Sustituir el convertidor con embrague anulador. • Sustituir el intercambiador refrigerante-aceite.

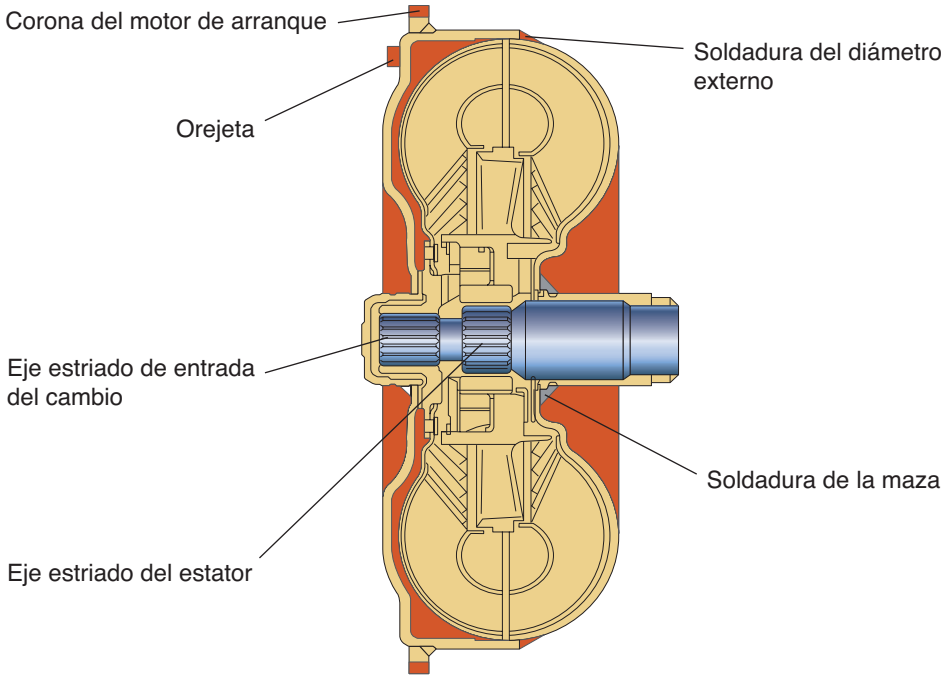
↑ **Tabla 2.3.** Tabla de las principales averías del convertidor de par.

caso **práctico** inicial

El embrague anulador en la cajas modernas cada vez trabajan más, se puede acoplar en 2, 3, 4 y 5 velocidad. El desgaste del embrague anulador es una de las averías más frecuentes en el convertidor de par.

Cuando se diagnostiquen fugas o pérdidas de líquido por la carcasa del convertidor, se debe tener en cuenta antes de iniciar la reparación:

- Que el nivel del líquido en la transmisión sea correcto.
- Que realmente exista una fuga.
- Que se determine correctamente la causa de la fuga.



↑ **Figura 2.64.** Sección de un convertidor de par sin embrague anulador y zonas soldadas.

12. Embrague electromagnético

Este tipo de embrague está basado en los principios del electromagnetismo. El principio de funcionamiento se debe a las propiedades que adquiere una mezcla realizada con aceite y polvo de hierro, la cual, tras ser sometida a un campo magnético, se convierte en una mezcla sólida.

El embrague electromagnético emplea, en lugar de aceite, polvo lubricante de grafito, sulfuro de molibdeno, etc.

saber más

El embrague electromagnético fue inventado en el año 1947 por el norteamericano Rabinow.

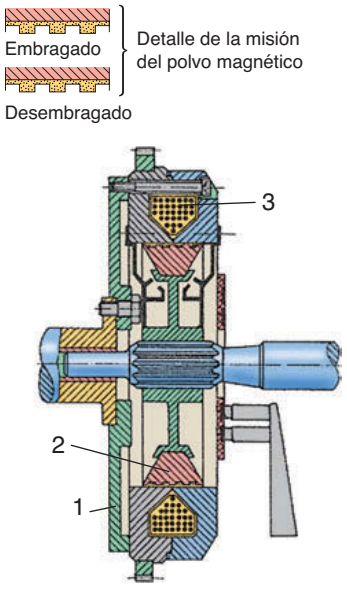
Funcionamiento del embrague electromagnético

El volante de motor «1» (figura 2.65) forma interiormente un tambor en el que se introduce, en sustitución del disco de embrague, una armadura circular de acero cuyo borde exterior está ranurado «2» (similar a un volante de inercia). Entre la armadura circular y el tambor, se encuentra el polvo de hierro y el aceite en estado pastoso.

Dentro del volante motor, rodeando el tambor, se encuentra una bobina anular «3». Al incidir la corriente eléctrica sobre la bobina anular, se produce un campo magnético que solidifica el polvo interior entre la armadura circular y el tambor, de manera que el embrague pasa de un resbalamiento total a un embragado completo.

Este embrague está comandado por un interruptor en la palanca de cambios, un potenciómetro en el acelerador y el vacío de la admisión.

El mantenimiento de este embrague es muy reducido, basta con la comprobación del circuito eléctrico, la reposición del polvo de hierro y la sustitución de las escobillas de la bobina anular cuando por motivos de un mal funcionamiento se necesite.



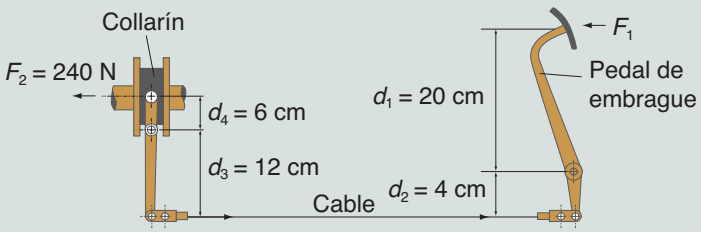
↑ **Figura 2.65.** Embrague electromagnético seccionado.

ACTIVIDADES FINALES

1. ¿Cuál es el modelo de embrague más empleado en vehículos de pequeña cilindrada? Razona tu respuesta.
2. Enumera las piezas que forman un conjunto de embrague por fricción en seco y analiza la misión que cumple cada una.
3. Calcula la fuerza transmitida y el par máximo que puede transmitir un embrague monodisco de fricción con los siguientes datos:
   - Diámetro exterior del disco: 175 mm.
   - Diámetro interior del disco: 140 mm.
   - Presión máxima admisible cada cm^2 del ferodo del disco: 2,5 kgf/cm^2.
   - Coeficiente de rozamiento del acero con el ferodo del disco: 0,3.
4. ¿Por qué se montan en los embragues bañados en aceite más discos y separadores que en los embragues en seco?
5. Calcula la potencia en caballos (CV) y el par motor (C_m) en newton por metro (Nm) de un motor 2,5 litros V6 TDI cuyos datos son los siguientes. Dibuja la gráfica.

Revoluciones por minuto	Potencia
1.000	23 kW
2.000	75 kW
3.000	110 kW
4.000	135 kW
4.500	125 kW

6. Calcula la fuerza que se debe aplicar en el pedal de embrague de accionamiento por palancas y cable (F_1) para transmitir una fuerza en el collarín de empuje de 240 N.



→ **Figura 2.66.**

7. Explica el funcionamiento de un convertidor de par y las diferencias de diseño con respecto a un embrague hidráulico.
8. Calcula la fuerza de empuje del bombín del collarín que tiene un émbolo de 3,1 cm de diámetro. Sabemos que en el émbolo de accionamiento se aplica una fuerza de 5 daN y que tiene un diámetro de 2,5 cm. Calcula la fuerza que realizaría un bombín con un émbolo de accionamiento de 2,3 cm de diámetro.
9. En el listado de vehículos siguiente, ¿todos están equipados con embragues de fricción? Señala el tipo de accionamiento que consideras más adecuado y razona la respuesta.
   - Motocicleta de pequeña cilindrada.
   - Coche de poca potencia.
   - Camión de gran tonelaje.
   - Tractor agrícola de gran potencia.
   - Motocicleta de gran cilindrada.
   - Coche de lujo y gran potencia.
   - Tractor agrícola pequeño.

EVALÚA TUS CONOCIMIENTOS

Resuelve en tu cuaderno o bloc de notas

1. El embrague se sitúa entre dos conjuntos mecánicos, señálalos:

a. La caja de cambios y el diferencial.

b. El motor y el grupo cónico.

c. La caja de cambios y la transmisión.

d. El motor y la caja de cambios.

2. El modelo de embrague que equipa un vehículo, ¿está vinculado con la caja de cambios?

a. Sí, las cajas de cambios automáticas necesitan un embrague hidráulico o un convertidor de par.

b. No, la caja de cambios no vincula el modelo de embrague.

c. No, el fabricante puede montar el modelo de embrague y caja que desee, y que sea más eficaz.

d. No, el embrague es independiente y no guarda relación con el modelo de caja.

3. ¿Se puede montar una caja de cambios manual y un embrague hidráulico?

a. No, una caja de cambios manual necesita un embrague que el conductor accione.

b. Sí, el embrague hidráulico es más eficaz y progresivo que el de fricción.

c. Sí, todas las cajas manuales montan embragues y convertidores de par.

d. Sí, se puede montar el embrague que el diseñador considere más adecuado.

4. ¿Qué función cumple el embrague en un vehículo?

a. Sirve de elemento compensador de potencia.

b. La principal misión es impedir que el motor se cale en las salidas.

c. La de transmitir la potencia del motor a la caja de cambios y permitir el cambio de velocidad en cambios manuales.

d. Permitir acoplar la marcha atrás.

5. En un embrague de fricción y un solo disco, ¿dónde está acoplado el estriado del disco?

a. En el eje del diferencial.

b. En el eje del primario de la caja de cambios.

c. En el eje del secundario de la caja de cambios.

d. Está suelto, girando libremente.

6. ¿Qué embrague necesita una bomba de aceite en su funcionamiento?

a. El embrague de fricción en seco.

b. El embrague electromagnético.

c. El convertidor de par.

d. El embrague por conos de fricción.

7. ¿Qué mecanismo permite canalizar el aceite de la turbina a la bomba en el convertidor de par?

a. El volador.

b. El reactor.

c. El turbo.

d. El engrasador.

8. ¿Qué válvula permite el paso del aceite desde el convertidor de par al radiador?

a. La válvula de retención.

b. La válvula de presión del convertidor.

c. La válvula de lubricación.

d. La válvula para el embrague anulador.

PRÁCTICA **PROFESIONAL**

HERRAMIENTAS

- Herramientas manuales del taller de electromecánica

MATERIAL

- Maqueta o vehículo con cambio con bombín hidráulico
- Líquido de frenos

Sustituir el bombín de accionamiento hidráulico del embrague

OBJETIVOS

Conocer el proceso para sustituir un bombín de accionamiento hidráulico de un embrague.

PRECAUCIONES

- Recoger el líquido hidráulico, el líquido ataca las pinturas.
- Purgar el bombín del aire que pueda entrar en el circuito.

DESARROLLO

1. Para poder sustituir el bombín lo primero es desconectar la entrada del líquido al interior del bombín (figura 2.67).
2. Quitar la grapa de fijación (figura 2.68) y girar el bombín para extraerlo de la carcasa del cambio figura 2.69.
3. Cambiar el bombín si fuese necesario, siguiendo el proceso inverso al desmontaje.
4. Purgar el circuito hidráulico. Pisar el pedal del embrague y abrir el purgador del bombín, cerrar el purgador y soltar el pedal, repetir el proceso hasta que no quede nada de aire en el circuito.
5. Rellenar de líquido el depósito, empleando el líquido de frenos.

↑ **Figura 2.67.** Desconectar la canalización de entrada de líquido al bombín.

↑ **Figura 2.68.** Quitar la grapa de fijación.

↑ **Figura 2.69.** Girar el bombín y extraerlo del alojamiento.

Desmontar y verificar un embrague

HERRAMIENTAS

- Herramientas manuales del taller de electromecánica

MATERIAL

- Maqueta o vehículo con embrague y cambio

OBJETIVOS

Conocer el proceso de desmontaje, verificación y montaje de un embrague.

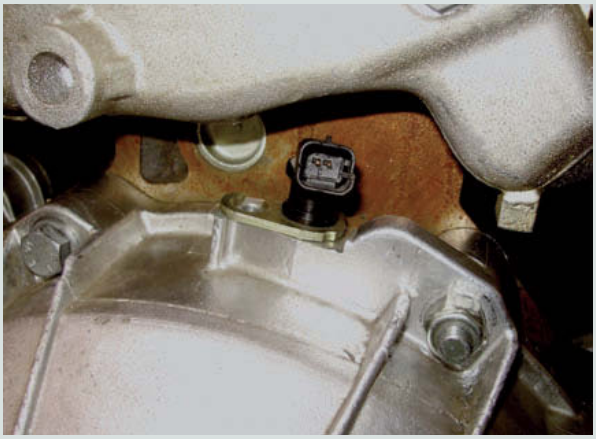
PRECAUCIONES

Colocar las patas del elevador en los puntos de elevación del vehículo.

DESARROLLO

1. Quitar todos los componentes periféricos del cambio, motor de arranque, terminales de masa (figura 2.70), captador de giro del motor (figura 2.71) cable del embrague (figura 2.72) y demás componentes que se pueden alojar en la carcasa del cambio.

↑ **Figura 2.70.** Quitar terminal de masa.



↑ **Figura 2.71.** Captador inductivo de giro.

2. Con todos los componentes periféricos quitados, aflojar los tornillos de fijación del cambio al taco elástico de fijación a la traviesa inferior del chasis (figura 2.73).

↑ **Figura 2.72.** Cable del embrague.

↑ **Figura 2.73.** Tornillo de fijación al taco elástico.

PRÁCTICA **PROFESIONAL** (cont.)

3. Aflojar y extraer los tornillos de fijación de la junta cardán de la transmisión trasera al grupo (figura 2.74) y desmontar la transmisión trasera de la caja.
4. Realizar el mismo proceso con la transmisión delantera, quitando los tornillos de fijación de la junta cardán de la transmisión delantera al grupo (figura 2.75). Es importante marcar la posición de la juntas con las placas de fijación de los grupos, las transmisiones se encuentran equilibradas y es conveniente volver a montarlas en la misma posición.

↑ **Figura 2.74.** Aflojar los tornillos de la junta al grupo.

↑ **Figura 2.75.** Desmontar la transmisión delantera.

5. Aflojar y extraer los tornillos de fijación de la carcasa del embrague y cambio al motor (figura 2.76).
6. Con todos los componentes acoplados en la caja desmontados, se puede desacoplar la caja de cambios del embrague (figura 2.77). Para facilitar la separación del embrague al motor es conveniente colocar un gato que sujete el cabeceo del motor al extraer el cambio.

↑ **Figura 2.76.** Aflojar los tornillos de fijación.

↑ **Figura 2.77.** Separar el cambio del motor.

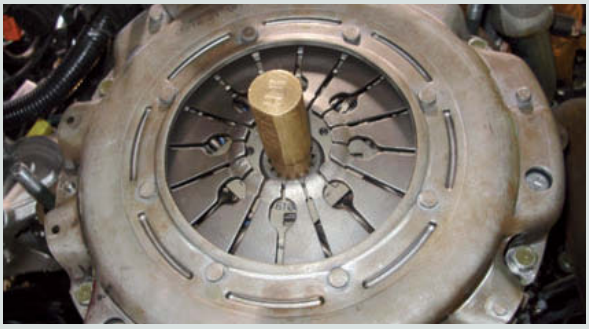
7. Con la caja de cambios separada del motor se tiene libre acceso al conjunto de embrague.
8. La maza de presión del embrague se desmonta quitando los tornillos de fijación de la maza al volante de inercia.
9. Al desmontar la maza de presión, el disco de embrague queda libre para poder comprobarlo.
10. El volante de inercia del motor es la superficie de contacto del disco y la superficie transmisora. Al llegar a este proceso de desmontaje, es conveniente quitar el volante de inercia y comprobar el estado del retén del cigüeñal, cambiar el retén si se comprueban perdidas de aceite.
11. Con el embrague desmontado, verificar el estado de los componentes de están sometidos a desgaste, medir el espesor del disco y comprobar el espesor del ferodo del disco de embrague.
12. Comprobar la planitud de la superficie de contacto del volante de inercia y la maza de presión.
13. Comprobar que el collarín gira suavemente y sin ruidos en el rodamiento axial que dispone.
14. El fabricante del vehículo proporciona los datos técnicos necesarios para verificar todos los componentes, espesor mínimo del disco, pares de apriete de los tornillos, piezas a engrasar, etc.

15. Los componentes que no superen las verificaciones se deben sustituir.
16. El proceso de montaje se realiza siguiendo las instrucciones del fabricante, empezando por montar el volante de inercia, aplicando sellador sobre los tornillos del volante (figura 2.78) y apretando al par de apriete con la llave dinamométrica (figura 2.79).

↑ **Figura 2.78.** Aplicar sellador a los tornillos.

↑ **Figura 2.79.** Apretar al par los tornillos del volante.

17. Montar el disco de embrague empleando el centrador del modelo (figura 2.80).
18. Apretar los tornillos de la maza de presión con dinamométrica (figura 2.81).



↑ **Figura 2.80.** Centrar el disco de embrague.

↑ **Figura 2.81.** Apretar al par los tornillos de la maza.

19. Con la maza del embrague montada, limpiar bien todas las piezas y engrasar un poco el eje del estriado de la caja y la zona de desplazamiento del collarín y acoplar nuevamente la caja de cambios al motor (figura 2.82).
20. Montar todos los elementos anexos, cable del embrague, transmisiones, motor de arranque, captador inductivo, etc. (figura 2.83).

↑ **Figura 2.82.** Acoplar la caja de cambios al motor.

↑ **Figura 2.83.** Montar la transmisión trasera.

MUNDO **TÉCNICO**

El embrague doble en seco convence al jurado internacional

SCHAEFFLER IBERIA, S.L., Madrid

PACE Award

LuK, ha recibido por parte de la publicación estadounidense especializada Automotive News y de sus copatrocinadores, de la consultora Ernst & Young y Transportation Research Center (Centro de Investigación del Transporte) el prestigioso premio PACE por su innovador embrague doble. El jurado valoró el cambio de marchas, rápido y cómodo, así como el bajo consumo de combustible de este embrague, el primero que funciona sin refrigeración por aceite, que se impuso finalmente tras un estricto proceso de selección.

El premio PACE (Premier Automotive Suppliers' Contribution to Excellence), se concede anualmente, y este año cumple su decimoquinta edición. Se han admitido como candidatos a aquellos proveedores que suministrasen productos, procesos, materiales o servicios de forma directa a los fabricantes de automóviles o camiones. De entre todos los participantes se seleccionaron primero a 25 finalistas, 13 de los cuales pudieron llevarse a casa el tan ansiado trofeo en la noche del 20 de abril.

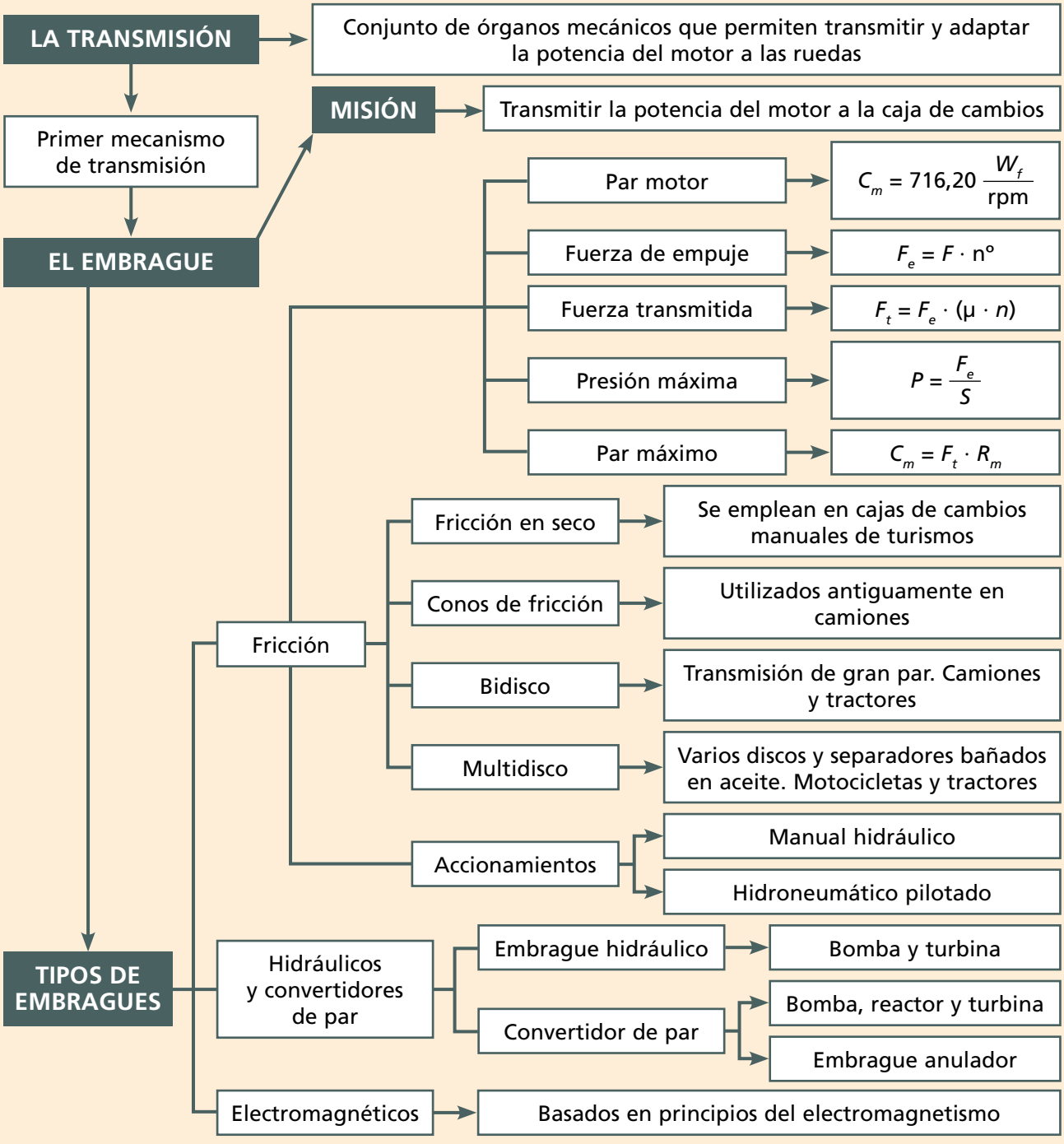
Jeff Hemphill, Director de Desarrollo de productos de la filial de LuK en Wooster (EEUU), recibió el premio en la categoría Product Europe en el Max M. Fisher Music Center, en Detroit: «El confort en la conducción y un reducido consumo de combustible son aspectos primordiales a la hora de tomar la decisión de qué comprar y, por tanto, resultan prioritarios para los fabricantes de automóviles. Como pioneros en el desarrollo de un embrague doble en seco, nuestra contribución es decisiva para poder alcanzar estos objetivos. Por este motivo, estamos muy contentos por este premio y orgullosos de la fuerza innovadora de nuestros empleados».

Ya en el otoño del año pasado, el jurado de expertos quedó convencido de la capacidad de rendimiento del embrague doble. Durante una visita de un día, el jurado examinó muy de cerca el centro de producción en Bühl (Alemania) así como los procesos in situ.

Volkswagen inició la producción de serie del embrague doble de LuK en la nueva caja de cambios directa (DSG) de 7 marchas.

↑ **Figura 2.84.** Embrague doble en seco, Fuente Luk.

EN **RESUMEN**



entra en internet

1. En las páginas web de los fabricantes de vehículos y componentes encontrarás información detallada de los sistemas de embragues que fabrican o montan.

3 Cajas de cambios manuales

vamos a conocer...

1. Misión de la caja de cambios
2. Relaciones de transmisión o velocidades del cambio
3. Configuración de la caja de cambios
4. Componentes del cambio
5. Mantenimiento de las cajas de cambios manuales
6. Diagnóstico de averías
7. Desmontaje, verificación y montaje de la caja de cambios
8. Sensores y actuadores del cambio

PRÁCTICA **PROFESIONAL**

Desmontar una caja de cambios

MUNDO **TÉCNICO**

Caja ¿automática o manual?

y al finalizar esta unidad...

- Conocerás la importancia de la caja de cambios en la transmisión de giro y el par motor.
- Entenderás el funcionamiento de una caja de cambios y la misión de sus elementos.
- Sabrás calcular las relaciones de transmisión de cajas de cambio manuales.
- Conocerás las averías más importantes que se producen en una caja de cambios.
- Realizarás verificaciones y sustituciones de piezas dañadas de la caja de cambios.

CASO **PRÁCTICO** INICIAL

situación de partida

Javier está decidido a comprar un coche pequeño de segunda mano, el coche que ha probado es un Peugeot 307 que tiene 180.000 km aproximadamente, el motor de gasolina de 1.400 cm^3, tracción delantera, cambio manual de cinco velocidades, dirección asistida, aire acondicionado y sistema de frenos con ABS.

Después de probar el coche en carretera y por ciudad, acompañado con un técnico de confianza, lo que han visto del coche es lo siguiente: el motor arranca con facilidad, mantiene el ralentí sin ruidos extraños y circulando por carretera el motor acelera y recupera bien. La suspensión se encuentra un poco blanda y con un poco de rebote en el eje delantero. Los frenos responden sin vibraciones, la dirección funciona bien, sin ruidos anormales al girar el volante y en carretera el coche mantiene la trayectoria. El recorrido del pedal del embrague es bueno y el disco no patina subiendo pendientes. El fallo que le han encontrado está en la caja de cambios, todas las velocidades entran con facilidad, no se sale ninguna, pero la segunda velocidad rasca cuando se realiza una la reducción de velocidades. En fase de aceleración, cambiando de 1ª a 2ª, 3ª, 4ª y 5ª todas las velocidades entran con facilidad y no rasca ninguna.

Al terminar la prueba en carretera, el coche les gusta y deciden llevarlo al taller y emplear un equipo universal de diagnosis para leer la memoria de averías en las centralitas y revisar bien la carrocería. En cuanto al cambio, todo indica que la avería se encuentra en el cono del sincronizador de la segunda velocidad, al desplazar el carrete desplazable no debe frenar el piñón que gira loco y la velocidad rasca, sobre todo en retenciones.

El mecánico le explica que no es una avería de gravedad y le recomienda a Javier que lo primero que debe hacer es cambiar el aceite del cambio y añadir un aditivo de cambios y volver a comprobar la caja. Si fuese necesario reparar, es una reparación que no necesita piezas costosas (anillos del sincronizador, aceite y juntas) siendo la mano de obra lo más costoso.

↑ **Carrete desplazable, conos de sincronizadores y piñones de una caja de cambios manual.**

estudio del caso

Antes de empezar a leer esta unidad de trabajo, puedes contestar las dos primeras preguntas. Después, analiza cada punto del tema, con el objetivo de contestar al resto de las preguntas de este caso práctico.

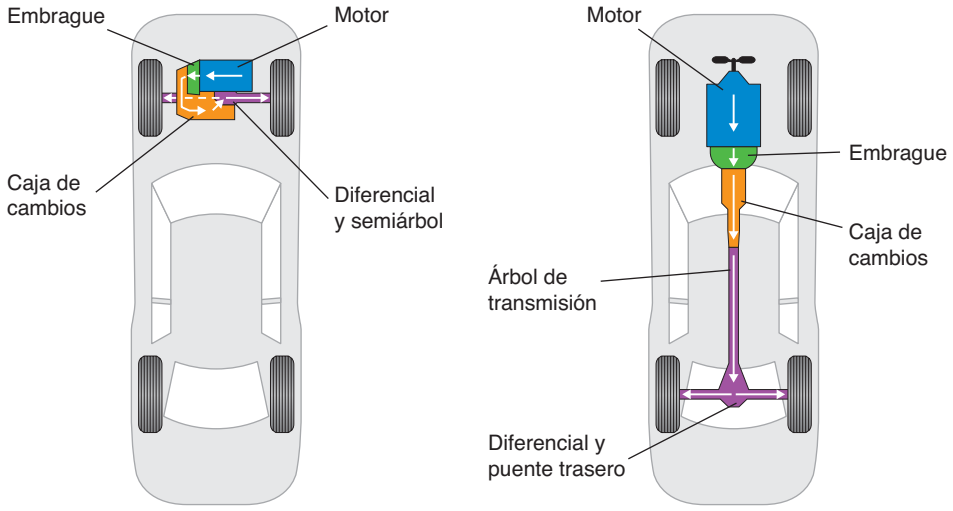
1. ¿Crees normal que de todos los sincronizadores, el primero que falle sea el de la 2ª velocidad?
2. ¿Cuando rascan todas las velocidades en una caja, puede ser un fallo de reglaje del embrague?
3. El coche que ha probado Javier: ¿por donde ha circulado más, por ciudad o por carretera?
4. ¿El equipo de diagnosis puede localizar de averías de la caja de cambios manual?

1. Misión de la caja de cambios

caso práctico inicial

El coche que ha probado Javier, tiene una caja de cambios con motor delantero transversal y tracción delantera.

La caja de cambios es el conjunto mecánico más importante de la cadena cinemática del vehículo, se coloca detrás del embrague del cual recibe el par del motor. El eje primario de la caja de cambios engrana en el disco del embrague y en la salida de la caja se encuentra el grupo reductor y diferencial en los modelos con tracción delantera y en los vehículos con propulsión trasera, el árbol de transmisión transmite el par al conjunto, grupo cónico y diferencial, colocado en el eje trasero (figura 3.1).



↑ **Figura 3.1.** Colocación de la caja de cambios en dos vehículos.

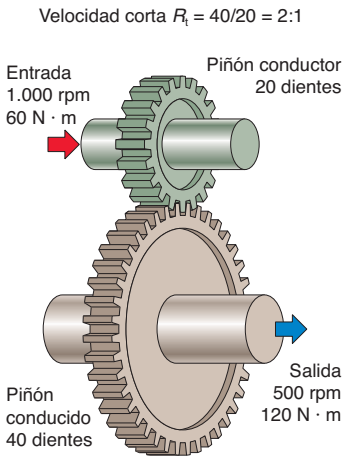
En las cajas de cambio manuales el conductor selecciona las velocidades de forma manual, pisando el embrague para desacoplar la transmisión de par del motor.

En las cajas de cambios automáticas y una vez seleccionada la velocidad por el conductor, 1ª, 2ª D, la caja realiza de forma automática el cambio de velocidades. El cambio de marchas se realiza sin necesidad de interrumpir el giro del motor. El cambio se realiza con carga.

Las cajas de cambios realizan las siguientes funciones:

- Acoplar las velocidades y transmitir el par que recibe del embrague al siguiente órgano de transmisión (grupo reductor o árbol de transmisión) para poder circular con el vehículo.
- Realizar la marcha atrás en los desplazamientos que sea necesario.
- Permite tener el motor arrancado y el vehículo parado en punto muerto, semáforos, paradas, etc.

La caja de cambios es un multiplicador o reductor del par del motor optimizando y aprovechando al máximo la potencia del motor. El cambio en las velocidades cortas reduce el número de revoluciones que salen de la caja y multiplica el par en la misma proporción (figura 3.2), en las velocidades largas realizan el proceso inverso, disminuye el par y aumenta las revoluciones de salida.



↑ **Figura 3.2.** Transformación de rpm y par en una velocidad corta.

Al reducir las revoluciones de salida en la caja el par transmitido aumenta.

$$Cm_1 \cdot N_1 = Cm_2 \cdot N_2$$

60 Nm · 1.000 rpm = 120 Nm · 500 rpm

Donde:

Cm_1 = par motor.

N_1 = revoluciones por minuto del motor.

Cm_2 = par de salida de la caja de cambios.

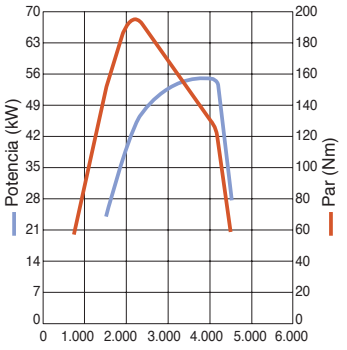
N_2 = revoluciones por minuto a la salida de la caja de cambios.

Si el vehículo no equipase caja de cambios, y las revoluciones del motor se transmitiesen directamente a las ruedas, $N_1 = N_2$, para poder desplazarse el par motor (Cm_1) debería superar el par resistente de las ruedas (Cm_2); $Cm_1 > Cm_2$

En este hipotético caso, el motor debería ser muy potente en cualquier situación de servicio, arrancadas, subidas, etc., pero esto no es así en los motores de combustión interna. Analizando las curvas de par y potencia de un motor diésel (figura 3.4) comprobamos que se obtiene un par máximo de 195 Nm a 2.200 rpm y a una potencia máxima de 55 kW (75 CV) a 4.000 rpm.

Con el motor a pocas revoluciones el par motor es muy pequeño (Cm_1) y resulta insuficiente para desplazar el vehículo, es necesario, por lo tanto, acelerar y subir el régimen de revoluciones hasta alcanzar mayor par y potencia. Con el empleo de la caja de cambios se consigue adaptar la velocidad del vehículo al número de revoluciones del motor más adecuadas para el funcionamiento.

↑ **Figura 3.3.** Palanca selectora de velocidades.



↑ **Figura 3.4.** Curvas de par y potencia de un motor VW 1.4 TDI.

2. Relaciones de transmisión o velocidades del cambio

Las velocidades de la caja de cambios manual se consiguen mediante parejas de ruedas dentadas engranadas entre sí, en la figura 3.5 se aprecian las parejas de ruedas que forman las seis velocidades, cinco con dentado helicoidal y una con dentado recto.

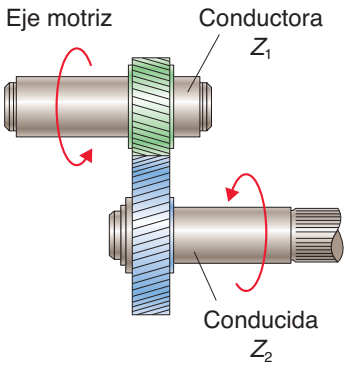
↑ **Figura 3.5.** Ruedas dentadas de una caja de cambios del Volkswagen Golf II.

saber más

Rueda dentada

El número de dientes de una rueda dentada se indica con la letra Z.

Por ejemplo, Z = 21.



↑ **Figura 3.6.** Rueda conductora y conducida.

La relación de transmisión (*Rt*) que se obtiene en los ejes con ruedas dentadas engranadas, depende del número de dientes de la rueda motriz o conductora Z_1 y del número de dientes de la rueda conducida Z_2. Por tanto:

$$Rt = \frac{\text{Nº de dientes de la rueda conducida } (Z_2)}{\text{Nº de dientes de la rueda conductora } (Z_1)}$$

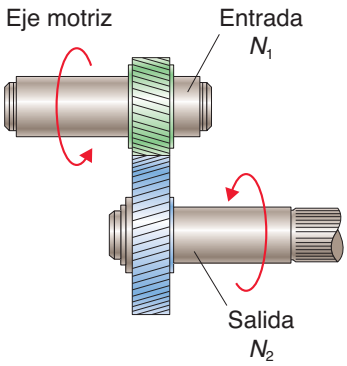
Por ejemplo:

Z_1 = 15 dientes

Z_2 = 51 dientes

$$Rt = \frac{Z_2 \text{ conducida}}{Z_1 \text{ conductora}} = \frac{51}{15} = 3{,}4/1$$

En el mismo tren de engranajes, la relación de transmisión se puede calcular conociendo las revoluciones de entrada y de salida en cada eje, la relación de transmisión será igual al número de revoluciones de entrada en la caja, entre las revoluciones conseguidas en el eje de salida:



↑ **Figura 3.7.** Revoluciones de entrada y salida en una pareja de ejes.

$$Rt = \frac{N_1 \text{ rpm eje de entrada}}{N_2 \text{ rpm eje de salida}}$$

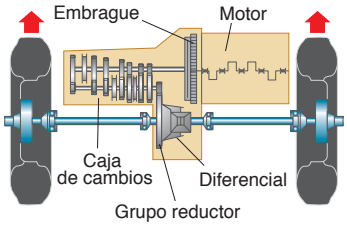
Por ejemplo:

N_1 = 2.500 rpm

N_2 = 735 rpm

$$Rt = \frac{N_1 \text{ rpm eje de entrada}}{N_2 \text{ rpm eje de salida}} = \frac{2.500}{735} = 3{,}4/1$$

Cada velocidad de la caja de cambios tiene una relación de transmisión. La relación de transmisión de cada velocidad depende de las ruedas dentadas que intervengan y el número de dientes de cada rueda dentada (tabla 3.1).



↑ **Figura 3.8.** Conjuntos mecánicos que intervienen en la transmisión delantera.

	MODELO SEAT LEÓN		
	1.4 i 16v	1.8 i 20 VT4	1.9 TDI
Marcha	**75 CV (55 kW)**	**180 CV (132 kW)**	**150 CV (110 kW)**
1ª	3,44/1	3,41/1	3,76/1
2ª	1,94/1	2,10/1	2,08/1
3ª	1,28/1	1,48/1	1,32/1
4ª	0,96/1	1,15/1	0,977/1
5ª	0,80/1	1,16/1	0,975/1
6ª		0,96/1	0,81/1
Marcha atrás	3,16/1	4,10/1	4,63/1

↑ **Tabla 3.1.** Estudio comparativo de las relaciones de transmisión entre tres cajas de cambios de un mismo modelo, sin la *Rt* del grupo reductor.

En las motocicletas de altas prestaciones el régimen de giro del motor es muy alto, para reducir el nº de rpm en la entrada de la caja de cambios los fabricantes

emplean una reducción previa con dos ruedas dentadas (figura 3.2), veamos un ejemplo de una Kawasaki.

	KAWASAKI NINJA
Marcha	115 CV (84 kW)
1ª	2,8/1
2ª	2/1
3ª	1,59/1
4ª	1,33/1
5ª	1,15/1
6ª	1,03/1

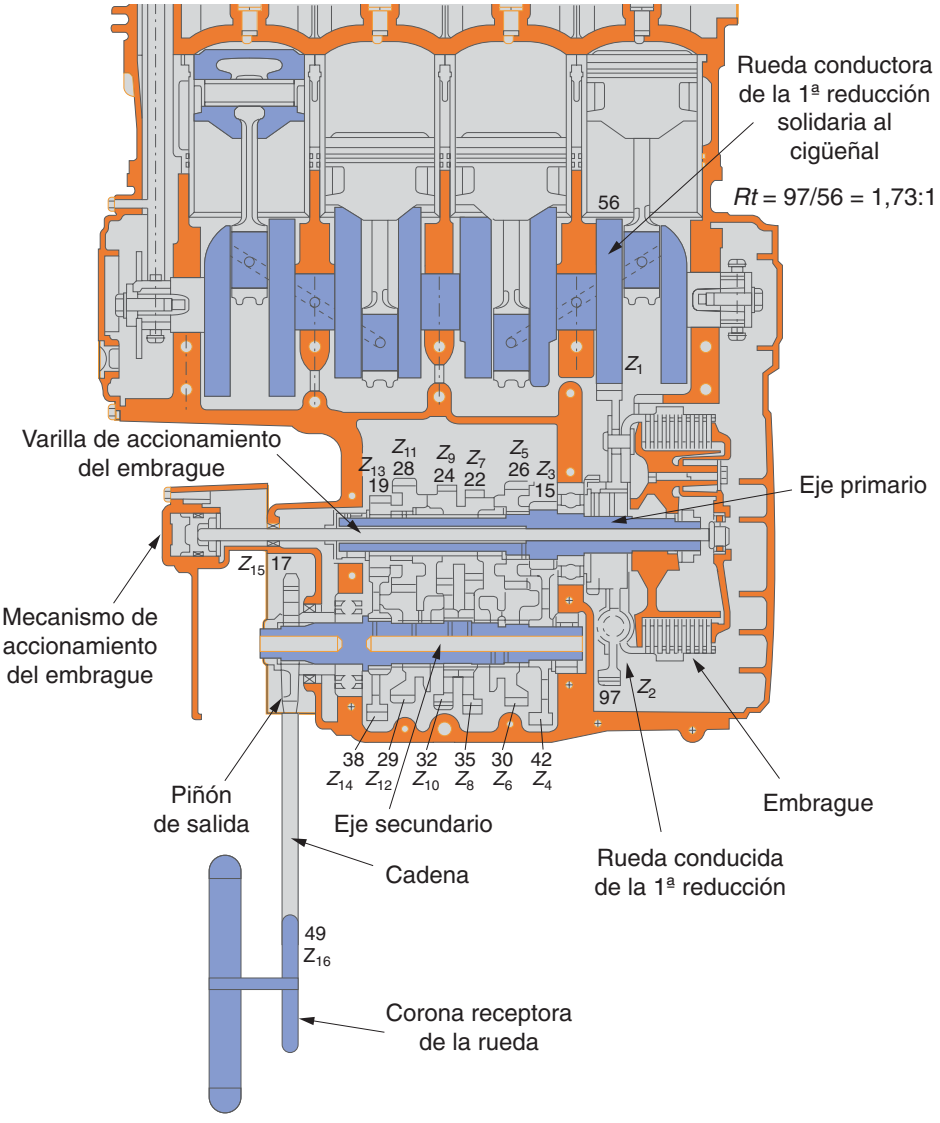
↑ **Tabla 3.2.** Relaciones de transmisión de la caja de cambios de la Kawasaki Ninja.

saber más

Relación de transmisión

En automóviles y vehículos con diferencial, la relación de transmisión de la caja de cambios no tiene en cuenta las reducciones del grupo cónico.

En las motocicletas a la relación de transmisión de la caja de cambios habrá que añadir la desmultiplicación que exista entre el piñón de ataque y la corona de la rueda.



↑ **Figura 3.9.** Cadena cinemática de transmisión de una Kawasaki Ninja 115 CV (84 kW).

↑ **Figura 3.10.** Piñones de dentado recto y mecanismo selector de velocidad de una Kawasaki.

EJEMPLO

Conociendo las relaciones de transmisión de la caja de velocidades de la Kawasaki Ninja de 115 CV (figura 3.9), y que el piñón de salida del cambio tiene 17 dientes y la corona de la rueda 49 dientes, calcula:

1. La relación de transmisión de la primera reducción (motor-embrague).
2. La relación de transmisión de la primera velocidad, indicando el número de dientes de las ruedas dentadas.
3. La relación de transmisión del piñón de salida y corona receptora.
4. La relación de transmisión total desde el motor hasta la rueda en primera velocidad.

Solución:

- La transmisión del cigüeñal al embrague se realiza por dos ruedas dentadas. La rueda del cigüeñal tiene 56 dientes y la del embrague, 97 dientes. La relación de transmisión es la siguiente:

$$Rt_{m\text{–}e} = \frac{Z_2 \text{ conducida}}{Z_1 \text{ conductora}} = \frac{97}{56} = 1{,}73/1$$

- En primera velocidad, el piñón que transmite en el eje primario Z_3 tiene 15 dientes y en el secundario Z_4 42 dientes, por tanto:

$$Rt_{v1} = \frac{Z_4 \text{ conducida}}{Z_3 \text{ conductora}} = \frac{42}{15} = 2{,}80/1$$

- La relación de transmisión del piñón de salida del cambio Z_{16} y la corona Z_{15} será:

$$Rt_{m\text{-}c} = \frac{Z_{16} \text{ conducida}}{Z_{15} \text{ conductora}} = \frac{49}{17} = 2{,}88/1$$

- La relación de transmisión final es el resultado de multiplicar todas las reducciones que intervengan desde el motor a las ruedas:

$$Rt_t = Rt_{m\text{–}e} \cdot Rt_{V1} \cdot Rt_{m\text{–}c}$$

$$Rt_t = 1{,}73 \cdot 2{,}80 \cdot 2{,}88 = 13{,}97/1$$

La relación de transmisión de esta motocicleta pasa por tres escalones, desde el motor hasta las ruedas, con una reducción de 13,97/1. De tal manera que se reduce 13,97 veces las revoluciones del motor y se aumenta en la misma proporción el par motor.

ACTIVIDADES

1. Señala las relaciones de transmisión que multiplican las revoluciones del motor y las que reducen en las cajas de cambio del Seat León (tabla 3.1).

2. En el ejemplo anterior de la Kawasaki, localiza las parejas de piñones de la 2ª, 3ª, 4ª, 5ª y 6ª velocidad y calcula la relación de transmisión final en cada una de estas velocidades.

3. En una motocicleta de Gran Premio, ¿crees que puede tener la relación de transmisión final igual si corre en el circuito de Jerez o en el circuito del Jarama? Razona tu respuesta.

2.1. Gráfica de velocidades

Para poder estudiar el diseño de las velocidades de la caja de cambios, se realizan gráficas de las distintas velocidades, marcando en el eje horizontal la velocidad en km/h, y las revoluciones por minuto del motor en el eje vertical, al igual que las rpm del par y la potencia máxima.

La gráfica se realiza partiendo de los datos facilitados por el fabricante y a un régimen de 1.000 rpm en quinta velocidad con un neumático 195/65 VR 15, el fabricante nos indica que el vehículo se desplaza a una velocidad de 32,3 km/h (punto 1, figura 3.12).

Velocidad en km/h en 5ª velocidad a par máximo 3.300 rpm

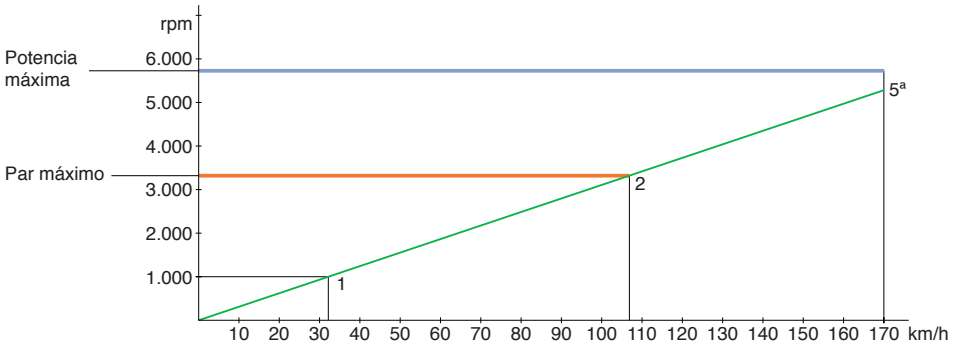
Si a 1.000 rpm → 32,3 km/h

3.300 rpm → X (km/h)

$$X\ (km/h) = \frac{3.300\ rpm \cdot 32{,}3\ km/h}{1.000\ rpm} = 106{,}59\ km/h$$

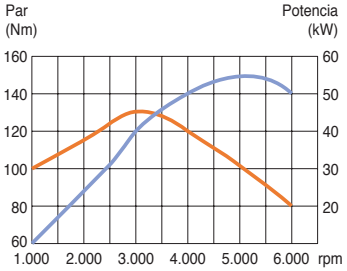
Punto 2 de la figura 3.12.

Uniendo los puntos 1 y 2 se consigue la recta que representa la 5ª velocidad.



↑ **Figura 3.12.** Gráfica de 5ª velocidad.

	SEAT LEÓN
	1.4 i 16V
Marcha	**75 CV (55 kW)**
1ª	3,44/1
2ª	1,94/1
3ª	1,28/1
4ª	0,96/1
5ª	0,80/1



↑ **Figura 3.11.** Relaciones de transmisión del Seat León, curvas de par y potencia del Seat León 1.4 i 16V 75 CV.

Para representar las otras cuatro líneas de las velocidades, es necesario tener en cuenta las distintas relaciones de transmisión de cada velocidad. Se parte de la relación de transmisión de la 5ª velocidad (0,80:1). Con el motor girando a 1000 rpm, las rpm que salen de la caja son 1250 rpm. El cálculo se realiza del siguiente modo:

$$Rt = \frac{N_1}{N_5};\ N_5 = \frac{N_1}{R_t} = \frac{1.000}{0{,}80} = 1.250\ rpm$$

Rt = Relación de transmisión de 5ª (0,8:1)

N_1 = rpm del motor

N_5 = rpm a la salida de la caja

Ya conocemos las rpm en la salida de la caja de cambios en 5ª velocidad , sin tener en cuenta la desmultiplicación que tiene el grupo reductor que en estos ejemplos no se ha incluido. Las gráficas de las otras velocidades se calculan siguiendo el mismo método y tomando la referencia de 5ª (a 1.250 rpm se alcanzan 32,3 km/h).

caso práctico inicial

El Peugeot 307 con motor 1.4 i (TU3JP) y neumáticos 195/65R15 a 1.000 rpm en 5ª alcanza una velocidad de 33,37 km/h. La relación de transmisión de la 5ª es un poco más larga que la del Seat León 32,3 km/h.

Cuarta velocidad

$$N_{4ª} = \frac{N_1}{R_t} = \frac{1.000}{0,96} = 1.041 \text{ rpm}$$

Rt = Relación de transmisión de 4ª (0,96:1)

N_1 = rpm del motor

$N_{4ª}$ = rpm a la salida de la caja en 4ª

Empleando la regla de tres simple, a 1.000 rpm que son 1.250 rpm en la salida de la caja, se alcanzan los 32,3 km/h. A 1.041 rpm de cuarta se alcanzan X (km/h) resolviendo la ecuación el resultado es 26,9 km/h.

$$\text{X (km/h)} = \frac{1.041 \text{ rpm} \cdot 32,3 \text{ km/h}}{1.250 \text{ rpm}} = 26,9 \text{ km/h}$$

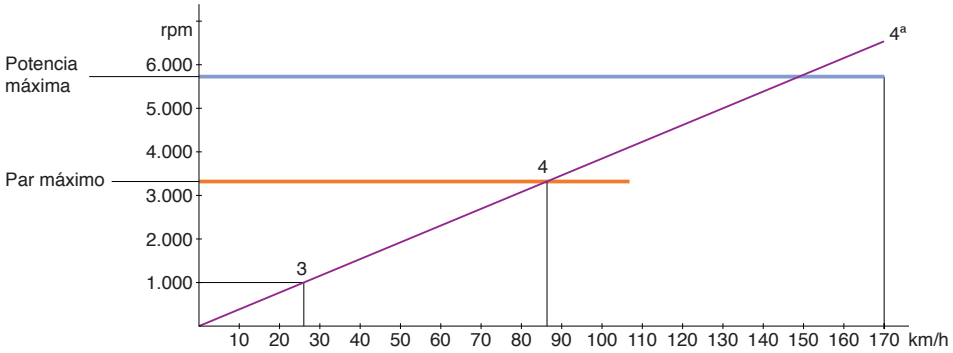
A par máximo 3.300 rpm se alcanzan los 88,7 km/h (punto 4, figura 3.13).

1.000 rpm → 26,9 km/h

3.300 rpm → X (km/h)

$$\text{X (km/h)} = \frac{3.300 \text{ rpm} \cdot 26,9 \text{ km/h}}{1.000 \text{ rpm}} = 88,7 \text{ km/h}$$

Uniendo los puntos 3 y 4 se consigue la recta que representa la 4ª velocidad.



↑ **Figura 3.13.** Gráfica de cuarta velocidad.

Tercera velocidad

$$N_{3ª} = \frac{N_1}{R_t} = \frac{1.000}{1,28} = 781 \text{ rpm}$$

Rt = Relación de transmisión de 3ª (1,28:1)

N_1 = rpm del motor

$N_{3ª}$ = rpm a la salida de la caja en 3ª

1.250 rpm → 32,3 km/h

781 rpm → X (km/h)

A 1.000 rpm del motor se alcanzan los 20,18 km/h (punto 5, figura 3.14).

$$\text{X (km/h)} = \frac{781 \text{ rpm} \cdot 32,3 \text{ km/h}}{1.250 \text{ rpm}} = 20,18 \text{ km/h}$$

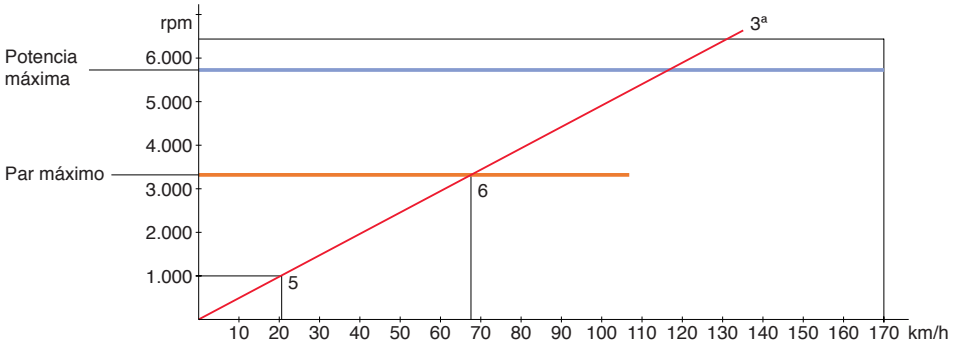
Y a par máximo, se alcanzan los 66,95 km/h (punto 6, figura 3.14).

1.000 rpm → 20,18 km/h

3.300 rpm → X (km/h)

$$X\ (km/h) = \frac{3.300\ rpm \cdot 20,18\ km/h}{1.000\ rpm} = 66,59\ km/h$$

Uniendo los puntos 5 y 6 se consigue la recta que representa la 3ª velocidad.



↑ **Figura 3.14.** Gráfica de tercera velocidad.

Segunda velocidad

$$N_{2ª} = \frac{N_1}{R_t} = \frac{1.000}{1,94} = 515\ rpm$$

Rt = Relación de transmisión de 2ª (1,94:1)

N_1 = rpm del motor

$N_{2ª}$ = rpm a la salida de la caja en 2ª

1.250 rpm → 32,3 km/h

515 rpm → X (km/h)

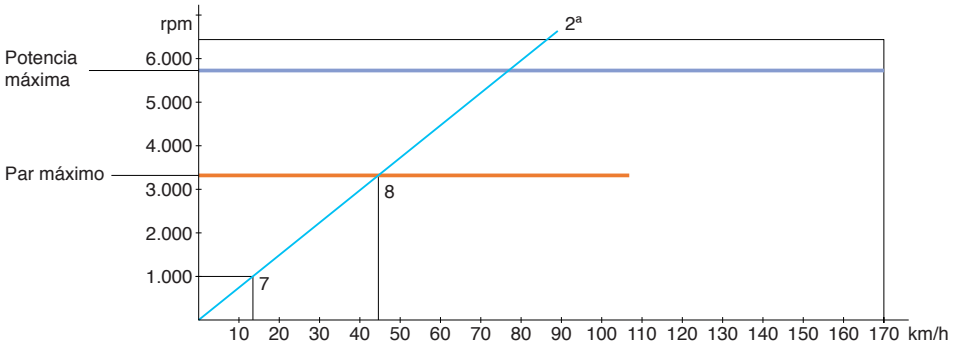
A 1.000 rpm del motor y 515 rpm en la salida de la caja de cambios se alcanzan los 13,3 km/h (punto 7, figura 3.15).

$$X\ (km/h) = \frac{515\ rpm \cdot 32,3\ km/h}{1.250\ rpm} = 13,30\ km/h$$

La velocidad en 2ª a par máximo 3.300 rpm (punto 8, figura 3.15).

$$X\ (km/h) = \frac{3.300\ rpm \cdot 13,30\ km/h}{1.000\ rpm} = 43,89\ km/h$$

Uniendo los puntos 7 y 8 se consigue la recta de la 2ª velocidad (figura 3.15).



↑ **Figura 3.15.** Gráfica de la segunda velocidad.

Primera velocidad

$$N_{1ª} = \frac{N_1}{R_t} = \frac{1.000}{3,44} = 290,7 \text{ rpm}$$

Rt = Relación de transmisión de 1ª (3,44:1)

N_1 = rpm del motor

$N_{1ª}$ = rpm a la salida de la caja en 1ª

1.250 rpm → 32,3 km/h

290,7 rpm → X (km/h)

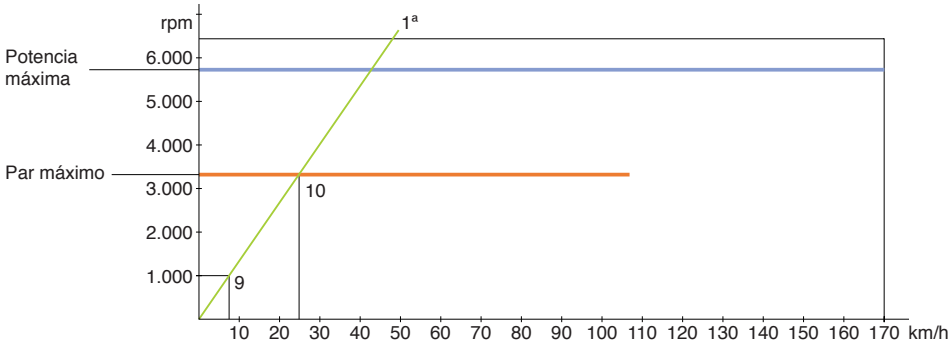
A 1.000 rpm del motor y 290,7 en la salida de la caja se alcanzan 7,5 km/h (punto 9, figura 3.16).

$$\text{X (km/h)} = \frac{290,7 \text{ rpm} \cdot 32,3 \text{ km/h}}{1.250 \text{ rpm}} = 7,5 \text{ km/h}$$

La velocidad en 1ª a par máximo 3.300 rpm (punto 10, figura 3.16).

$$\text{X (km/h)} = \frac{3.300 \text{ rpm} \cdot 7,5 \text{ km/h}}{1.000 \text{ rpm}} = 24,75 \text{ km/h}$$

Uniendo los puntos 9 y 10 se consigue la recta de la 1ª velocidad (figura 3.16).



↑ **Figura 3.16.** Gráfica de la primera velocidad.

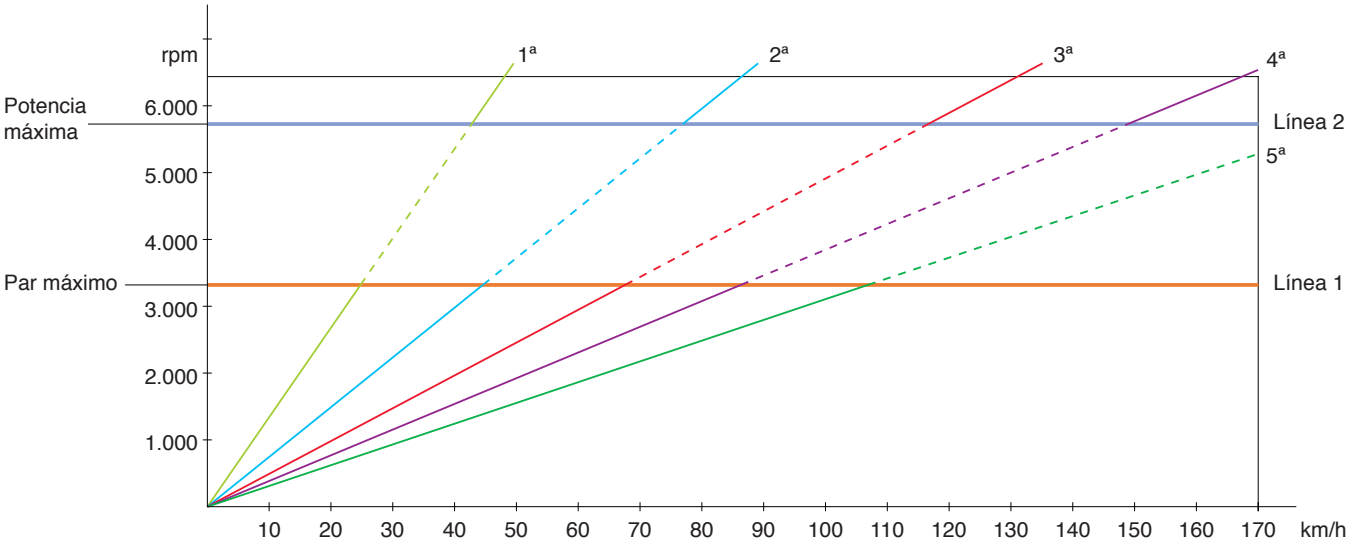
Con todos los datos reales de la caja se realiza la tabla de datos siguiente:

Velocidad	Régimen de referencia	*Rt*	rpm salida de la caja de cambios	Velocidad km/h	Velocidad km/h a par máximo
1ª	1.000	3,44:1	290	7,5	24,75
2ª	1.000	1,94:1	515	13,3	43,89
3ª	1.000	1,28:1	781	20,18	66,59
4ª	1.000	0,96:1	1.041	26,9	88,7
5ª	1.000	0,80:1	1.250	32,3	106,59
Ma	1.000	3,16:1	316	8,16	

↑ **Tabla 3.3.** Tabla de velocidades del cambio del Seat León 1.4 i 16V 75 CV.

La gráfica representa las velocidades en kilómetros por hora (km/h) que puede alcanzar en cada marcha el vehículo a unas determinadas revoluciones

de motor. La gráfica final de la caja de cambios del vehículo aparece en la figura 3.17.



↑ **Figura 3.17.** Gráfica de las cinco velocidades del Seat León 1.4 i 16v 75 CV.

En la gráfica de la figura 3.17, la línea 1 representa el régimen en el par máximo del motor (126 Nm) y la línea 2, la potencia a régimen máximo del motor. La zona de máximo rendimiento está representada con las líneas discontinuas y, en este ejemplo, abarca desde las 3.300 rpm hasta las 5.700 rpm.

2.2. Escalonamiento del cambio

El momento de cambiar de marcha lo decide el conductor teniendo en cuenta los siguientes parámetros: velocidad del vehículo, las revoluciones del motor, la carga del vehículo, la superación de pendientes, etc. Analizando la gráfica de la caja de cambios manual, se puede determinar el momento de realizar el cambio para conseguir el máximo rendimiento del vehículo o un consumo óptimo de combustible.

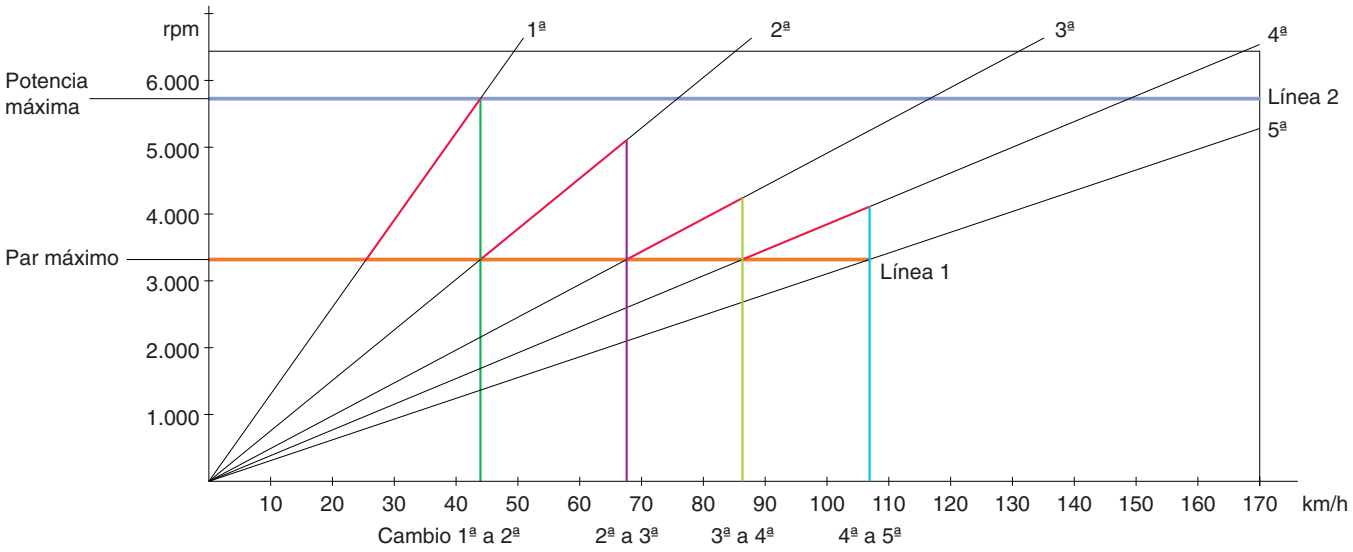
- Las máximas prestaciones (alta potencia) se obtienen realizando el cambio a altas revoluciones (línea 2).
- El momento ideal para un consumo reducido de combustible, el cambio de marchas, se encuentra en la zona de par máximo (línea 1, figura 3.18).
- Para conseguir potencia y un consumo optimizado, el cambio de velocidad se debe realizar a las rpm o velocidad en km/h en las que se alcanza el par máximo.

En la caja de cambios del Seat León, el punto del cambio idóneo de 1ª a 2ª se encuentra en el punto que la siguiente velocidad alcanza el par máximo. Con la relación de transmisión de la 1ª y 2ª velocidad el punto de cambio del Seat León del estudio, se encuentra a las revoluciones de máxima potencia 5.700 rpm y a los 42 km/h aproximadamente, línea verde de la figura 3.18.

caso práctico inicial

El coche que ha probado Javier el Peugeot 307 1.4 i tiene las siguientes relaciones de transmisión:

1ª 3.41:1
2ª 1.8:1
3ª 1.28:1
4ª 0.97:1
5ª 0.76:1



↑ **Figura 3.18.** Escalonamiento del cambio.

caso **práctico** inicial

El Peugeot 307 1.4 i y el Seat León 1.4 i son muy parecidos en potencia de motor y *Rt* de la caja de cambios, incluso la *Rt* de tercera es igual 1.28:1 y el escalonamiento del cambio en los dos coches debe ser similar.

El punto del cambio de 2ª a 3ª se encuentra en el punto que la 3ª velocidad alcanza el par máximo 4.900 rpm y a los 68 km/h aproximadamente, línea morada.

El momento del cambio de 3ª a 4ª se encuentra en el momento que la 4ª velocidad alcanza el par máximo 4.100 rpm y a los 88 km/h aproximadamente, línea marrón.

El cambio de 4ª a 5ª se encuentra en el momento que la 5ª velocidad alcanza el par máximo 3.900 rpm y a los 116 km/h aproximadamente.

Observando la gráfica y el escalonamiento de las velocidades se comprueba que el escalonamiento del cambio en las velocidades altas, 3ª, 4ª y 5ª disminuye y que cuantas más velocidades tenga la caja de cambios, mejor se puede aprovechar la potencia del motor y realizar un escalonamiento menor entre velocidades.

Las cajas de cambios destinadas a vehículos de competición permiten cambiar las relaciones de transmisión de las velocidades, sustituyendo las ruedas dentadas que forman las parejas de engranajes. De esta forma se pueden conseguir velocidades más largas (mayores desarrollos) y velocidades más cortas. Los pilotos y los técnicos del equipo determinan mediante programas informáticos y pruebas en el circuito, las relaciones de transmisión más convenientes a cada carrera o circuito.

En el ejemplo de la caja de cambios del Seat 1.4i 16V, en segunda velocidad se obtiene una relación de 1,94/1. El piñón del primario tiene 18 dientes y el piñón del secundario 35.

$$Rt_{2ª} = \frac{35 \text{ dientes}}{18 \text{ dientes}} = 1{,}94/1$$

Si el circuito es revirado con muchas curvas y el equipo decide tener una segunda velocidad más corta con menor desarrollo, se puede cambiar la pareja de ruedas dentadas cambiando la rueda dentada de 35 dientes por una de 36 dientes y la de 18 por una de 17, obtenemos otra desmultiplicación más corta con una relación de 2,11/1.

$$Rt_{2ª} = \frac{36 \text{ dientes}}{17 \text{ dientes}} = 2{,}11/1$$

Las rpm que se consiguen con la nueva relación de transmisión son las siguientes:

$$Rt_{2ª} = \frac{N_1}{N_2};\ N_2 = \frac{N_1}{Rt_{2ª}} = \frac{1.000}{2,11} = 473,9 \text{ rpm}$$

$Rt_{2ª}$ = Nueva relación de transmisión de 2ª (2,11:1)

N_1 = rpm del motor

N_2 = rpm a la salida de la caja en la nueva 2ª

1.250 rpm → 32,3 km/h

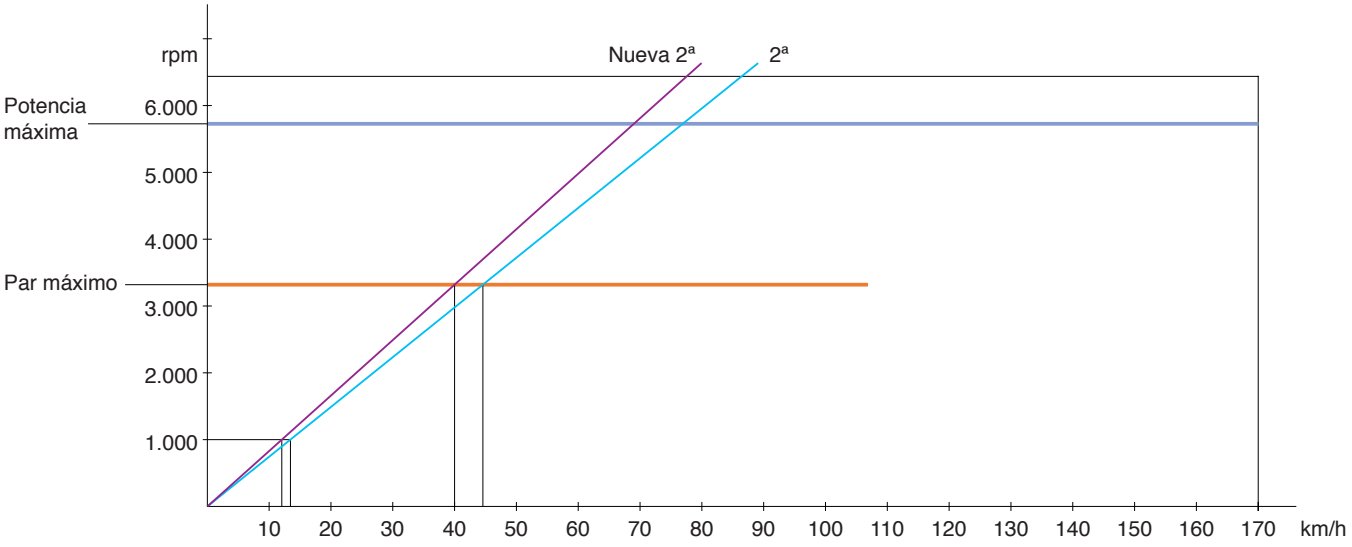
473,9 rpm → X (km/h)

A 1.000 rpm de motor que son las 1.250 rpm de la caja se alcanzan los 12,2 km/h y al par máximo 3.300 rpm se alcanzan los 40,26 km/h. El cambio de 1ª a 2ª se realizaría antes con la nueva relación de transmisión, el par máximo en nueva 2ª velocidad se alcanza a los 40,26 km/h (figura 3.19).

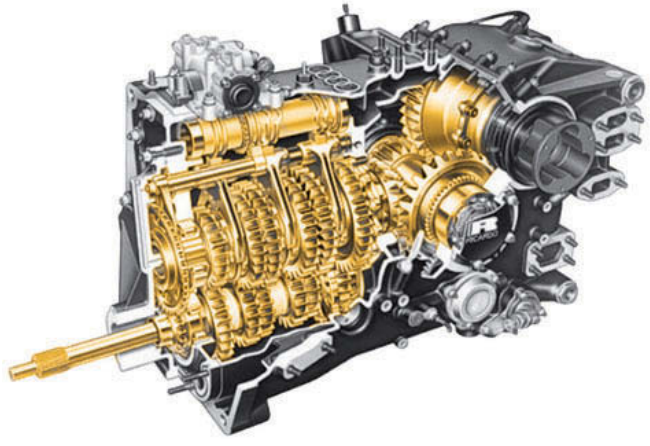
saber más

Cajas de dientes rectos

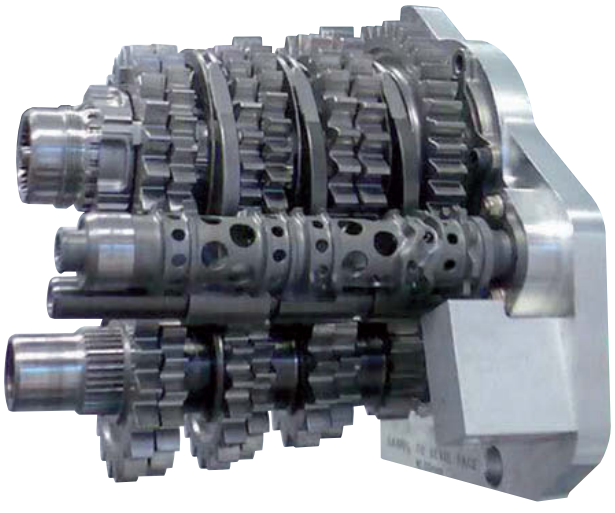
En competición, algunos vehículos emplean cajas de cambios con piñones de dientes rectos, permitiendo una mayor transmisión de potencia y la disminución de esfuerzos axiales. En contrapartida, estas cajas son más ruidosas y requieren de una selección del cambio más precisa.



↑ **Figura 3.19.** Gráficas de las dos relaciones de transmisión de la 2ª velocidad.



↑ **Figura 3.20.** Caja de cambios de dentado recto.



↑ **Figura 3.21.** Caja de dentado recto de F 1.

3. Configuración de la caja de cambios

caso práctico inicial

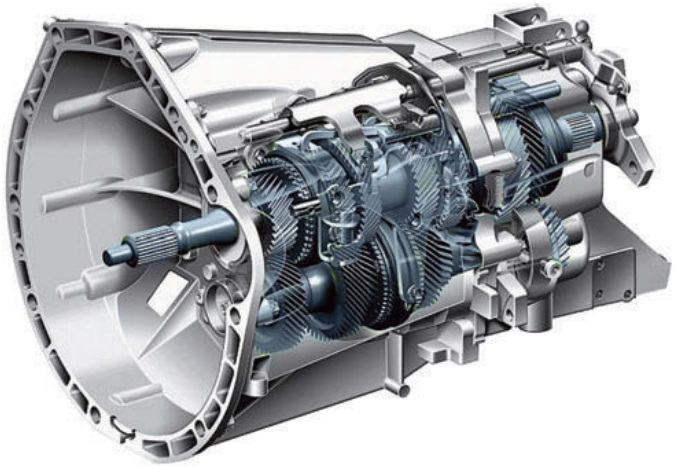
El Peugeot 307 del caso inicial dispone de una caja de cambios de tracción delantera con engranajes helicoidales en toma constante sincronizada.

La caja de cambios es un conjunto mecánico formado por dos o tres ejes con ruedas dentadas engranadas entre sí y que giran sobre rodamientos, los ejes se montan paralelamente. En uno de los ejes las ruedas dentadas se encuentran fijas y en el otro eje las ruedas dentadas giran libremente.

El conductor desplaza la palanca de cambio y mediante un sistema de varillas y cables o neumáticamente mueve una horquilla y enclava el piñón que gira loco con su eje, consiguiéndose de este modo las distintas velocidades que disponga la caja. El mecanismo para enclavar las ruedas que giran libremente se conoce como **conjunto sincronizador.**

En las primeras cajas de cambios, los piñones se desplazaban para engranarse con su pareja y los dientes eran rectos. Con la incorporación de engranajes helicoidales, se desarrolló un sistema que permitía realizar el cambio de relación sin tener que desplazar los piñones; a este diseño de cajas se le denomina de «toma constante sincronizada».

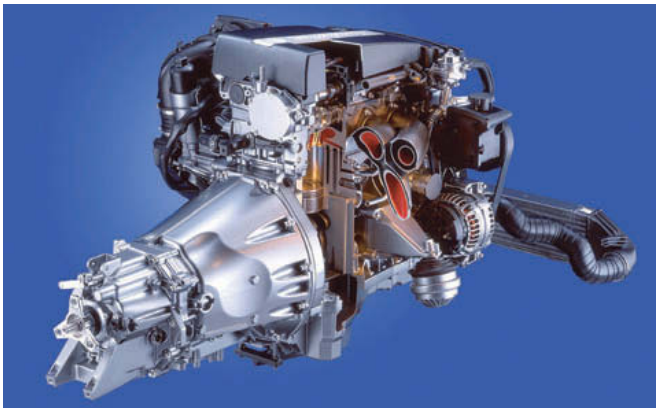
Todos estos elementos van alojados dentro de una carcasa con aceite para lubricar los distintos mecanismos, sellada y hermetizada por medio de retenes para impedir la pérdida de aceite (figura 3.22).



↑ **Figura 3.22.** Caja de cambios de piñones helicoidales y sincronizada.

Constructivamente se emplean dos tipos de cajas de cambios según la posición del motor y el sistema de transmisión empleado: cajas de cambio para tracción delantera y cajas de cambio para propulsión trasera y tracción total.

↑ **Figura 3.23.** Caja de cambios para tracción delantera.



↑ **Figura 3.24.** Caja de cambios para propulsión trasera y 4x4.

3.1. Cajas de cambios para tracción delantera

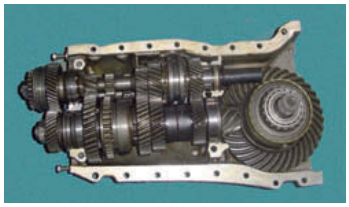
Los vehículos con tracción delantera pueden montar el motor tanto longitudinal como transversalmente. Las cajas de cambios para tracción delantera montan el diferencial y el grupo reductor en el mismo conjunto.

Las cajas de cambios de tracción delantera disponen de dos ejes, el eje primario y el eje secundario. El eje primario engrana en el disco del embrague y el eje secundario transmite al grupo reductor y al diferencial.

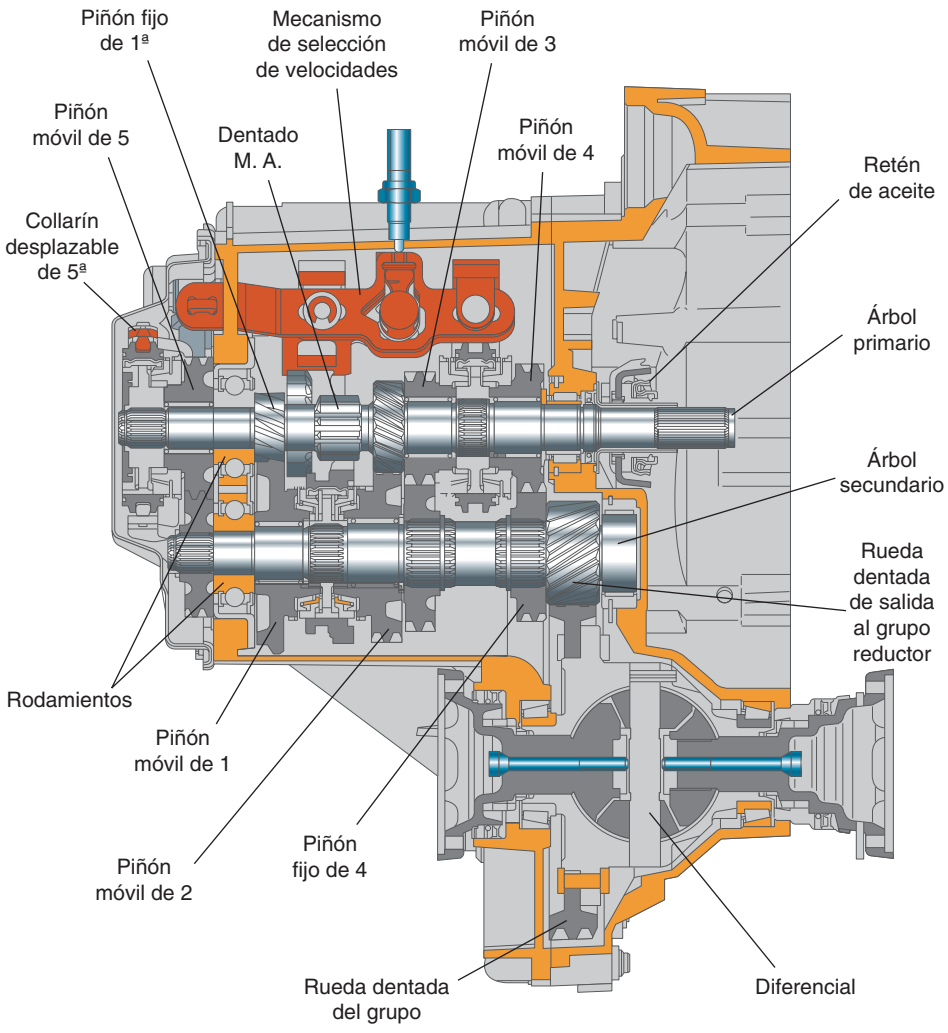
La caja de cambios que dispone de cinco velocidades y marcha atrás, los ejes disponen de una rueda dentada para cada velocidad formando una pareja de ruedas dentadas engranadas entre sí (menos la marcha atrás), formando pares de engranajes que dan lugar a diferentes relaciones de transmisión.

En cada pareja de ruedas dentadas, una rueda se encuentra fija al eje y la otra gira libremente en el otro eje hasta que se selecciona la velocidad, la selección consiste en enclavar o dejar fija la rueda dentada que gira libremente.

Las modernas cajas de cambios montan piñones móviles con sus correspondientes collarines y sincronizadores indistintamente en los dos ejes primario y secundario (figura 3.26).



↑ **Figura 3.25.** Caja de cambios con dos ejes, grupo cónico y diferencial.



↑ **Figura 3.26.** Componentes de un cambio de dos ejes o árboles.

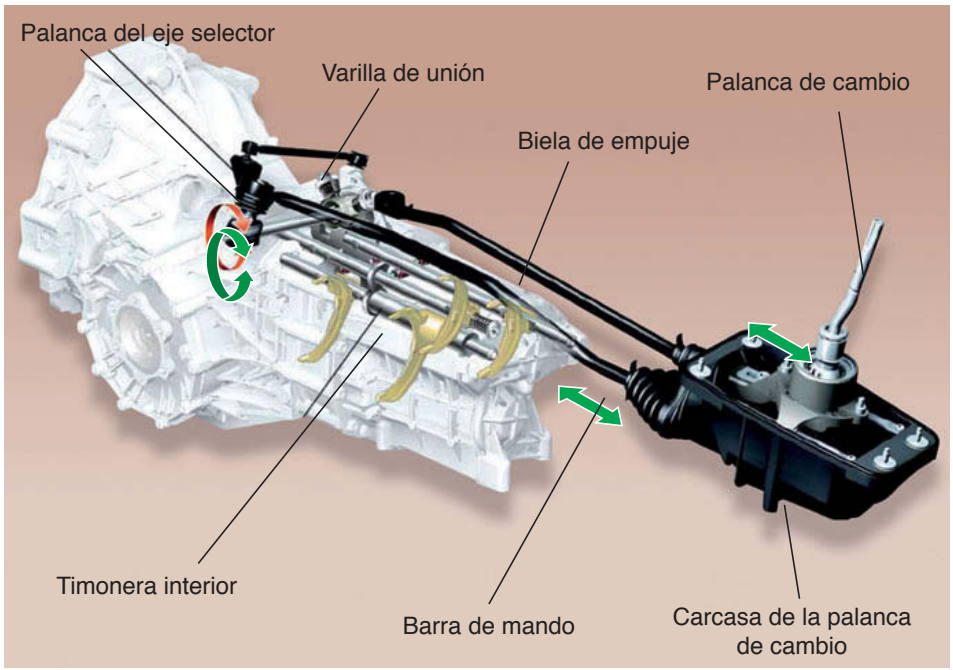
caso **práctico** inicial

La caja de cambios del Peugeot del caso inicial tiene una configuración similar a la caja de cambios de la figura 3.26.

Con dos ejes y conjunto reductor y diferencial en el mismo conjunto.

Funcionamiento de la caja de cambios manual

Cuando el conductor decide seleccionar una velocidad, desplaza la palanca de marchas a la posición de selección de 1ª o 2ª-3ª…. La palanca se encuentra unida a un mecanismo selector, cables o a una biela de empuje y barra de mando (figura 3.27), encargada de desplazar en el interior de la caja, la timonería de las horquillas que abrazan las coronas desplazables de los sincronizadores. En cada velocidad se desplaza un carrete desplazable que enclava el piñón o rueda dentada en su eje.



↑ **Figura 3.27.** Mecanismo de selección de velocidades del Seat Exeo (fuente Seat).

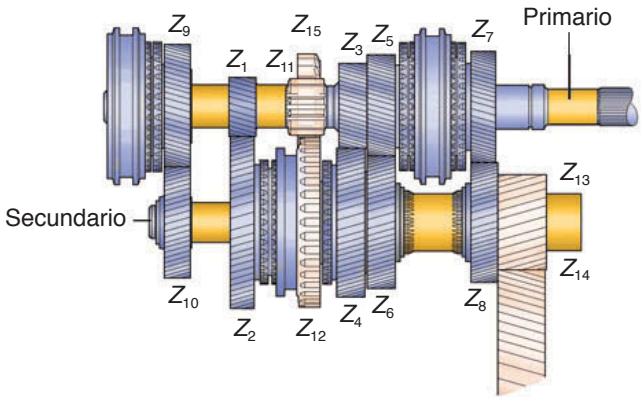
Primario
$Z_1 = 11$
$Z_3 = 21$
$Z_5 = 31$
$Z_7 = 39$
$Z_9 = 48$
$Z_{11} = 11$
$Z_{13} = 17$

Secundario
$Z_2 = 38$
$Z_4 = 44$
$Z_6 = 43$
$Z_8 = 40$
$Z_{10} = 39$
$Z_{12} = 3$
$Z_{14} = 66$

↑ **Tabla 3.4.** Nº de dientes de los piñones de la caja figura 3.28.

Al dejar fijos en sus ejes las dos ruedas dentadas de cada velocidad, la caja de cambios tiene una velocidad engranada, transmite el giro de un eje al otro y se produce una relación de transmisión. Las relaciones de transmisión de las velocidades de la caja dependen del número de dientes de cada rueda dentada. Cuando la caja se encuentra en punto muerto, ninguna rueda dentada se encuentra enclavada al eje secundario y todos los piñones giran locos.

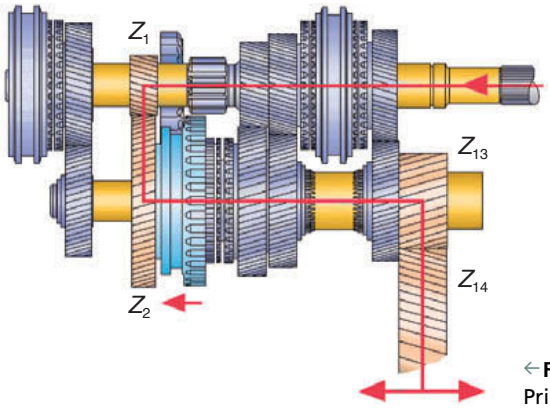
Las relaciones de transmisión de la caja serían las siguientes:



↑ **Figura 3.28.** Caja de cambios de dos ejes y grupo reductor.

Primera velocidad

En esta marcha el piñón del eje primario Z_1 (piñón conductor), se encuentra tallado en el eje formando una pieza, el piñón conducido Z_2 del eje secundario gira libremente. Al seleccionar esta velocidad se desplaza el collarín del sincronizador y se enclava el piñón Z_2 en el eje secundario.



←**Figura 3.29.**
Primera velocidad.

La relación de transmisión resultante es la siguiente:

$$Rt_{1ª} = \frac{\text{Nº de dientes del piñón conducido}}{\text{Nº de dientes del piñón conductor}} = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{38}{11} = 3{,}45/1$$

Para calcular la relación de transmisión total, a la relación de transmisión de la velocidad de la caja, se multiplica la relación de la caja por la relación de transmisión del grupo reductor.

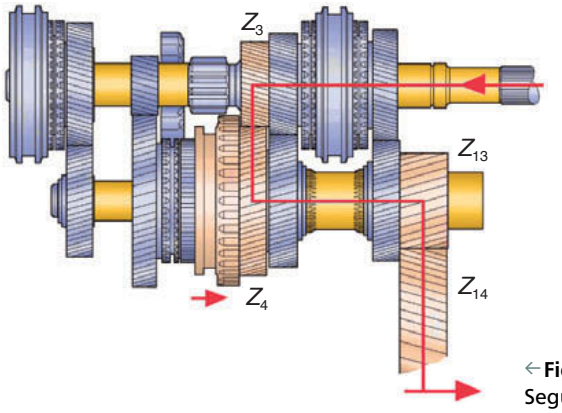
$$Rtgr = \frac{Z_{14}}{Z_{13}} = \frac{66}{17} = 3{,}88/1$$

$Rtf_{1ª} = Rt_{1ª} \cdot Rtgr$; $3{,}45 \cdot 3{,}88 = 13{,}38/1$. Si la operación se realiza directamente, el cálculo es más exacto, al no despreciarse el tercer decimal.

$$Rtf_{1ª} = \frac{Z_2}{Z_1} \cdot \frac{Z_{14}}{Z_{13}} = \frac{38}{11} \cdot \frac{66}{17} = \frac{2.505}{187} = 13{,}41/1$$

Segunda velocidad

Por medio de la doble sincronización, se libera el piñón de primera Z_2 y se enclava el piñón Z_4 del eje secundario.



←**Figura 3.30.**
Segunda velocidad.

saber más

En el cálculo de las relaciones de transmisión de las cajas de cambios, no afecta que el dentado sea helicoidal o dentado recto, se calcula igual en los dos casos.

recuerda

La relación de transmisión del grupo reductor es igual en todas las velocidades.

$$Rtgr = \frac{Z_{14}}{Z_{13}} = \frac{66}{17} = 3{,}88/1$$

La relación de transmisión de segunda es la siguiente:

$$Rt_{2ª} = \frac{Z_4}{Z_3} = \frac{44}{21} = 2{,}09/1$$

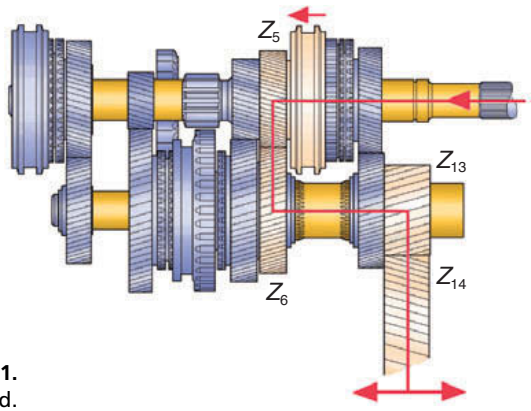
Y a través del grupo:

$$Rtf_{2ª} = \frac{Z_4}{Z_3} \cdot \frac{Z_{14}}{Z_{13}}$$

$$Rtf_{2ª} = \frac{Z_4}{Z_3} \cdot \frac{Z_{14}}{Z_{13}} = \frac{44}{21} \cdot \frac{66}{17} = \frac{2.904}{357} = 8{,}13/1$$

Tercera velocidad

En las velocidades tercera, cuarta y quinta, los piñones giran locos en el eje primario, por lo que el mecanismo de sincronización se encuentra en este eje. Para conseguir la tercera velocidad el sincronizador se desplaza y enclava el piñón Z_5 al eje primario, el piñón conducido Z_6 se encuentra solidario al eje secundario (figura 3.31).



→ **Figura 3.31.**
Tercera velocidad.

La relación de transmisión de tercera es la siguiente:

$$Rt_{3ª} = \frac{Z_6}{Z_5} = \frac{43}{31} = 1{,}38/1$$

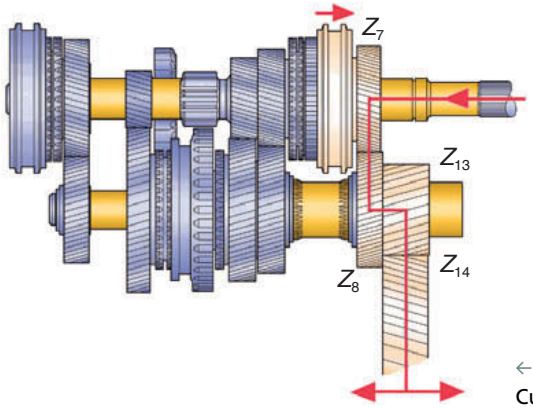
Y a través del grupo reductor:

$$Rtf_{3ª} = \frac{Z_6}{Z_5} \cdot \frac{Z_{14}}{Z_{13}}$$

$$Rtf_{3ª} = \frac{Z_6}{Z_5} \cdot \frac{Z_{14}}{Z_{13}} = \frac{43}{31} \cdot \frac{66}{17} = \frac{2.838}{527} = 5{,}38/1$$

Cuarta velocidad

Desplazando el sincronizador compartido para tercera y cuarta velocidad, se enclava el piñón de cuarta Z_7 al eje primario, el piñón del secundario Z_8 se encuentra fijo al eje secundario, el giro se transmite del piñón del primario al secundario (figura 3.32).



←**Figura 3.32.**
Cuarta velocidad.

$$Rt_{4ª} = \frac{Z_8}{Z_7} = \frac{40}{39} = 1{,}02/1$$

Y a través del grupo:

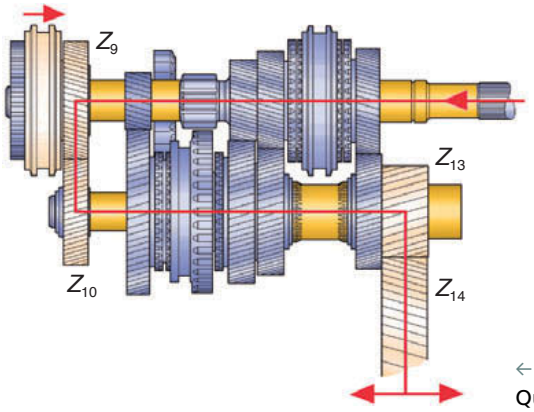
$$Rtf_{4ª} = \frac{Z_8}{Z_7} \cdot \frac{Z_{14}}{Z_{13}}$$

$$Rtf_{4ª} = \frac{Z_8}{Z_7} \cdot \frac{Z_{14}}{Z_{13}} = \frac{40}{39} \cdot \frac{66}{17} = \frac{2.640}{663} = 3{,}98/1$$

En algunos cambios la relación de transmisión de cuarta es 1/1, lo que significa que no se produce desmultiplicación de velocidad en el cambio. Esta velocidad se conoce como directa.

Quinta velocidad

Una vez desengranado el sincronizador de cuarta, y desplazando al sincronizador simple de quinta, se enclava el piñón Z_9 al árbol primario y el giro pasa al piñón del árbol secundario Z_{10} que se encuentra fijo al árbol secundario (figura 3.33).



←**Figura 3.33.**
Quinta velocidad.

La relación de transmisión en quinta es la siguiente:

$Rt_{5ª} = \frac{Z_{10}}{Z_9} = \frac{39}{48} = 0{,}81/1$. La caja multiplica las revoluciones que entran por 1,19.

saber más

Piñón de 24 dientes

Si una fracción se multiplica y se divide por un mismo número, el resultado no se altera.

El piñón inversor, en el caso del ejemplo, tiene 24 dientes, lo que no influye en el resultado final de la relación de transmisión.

recuerda

Los piñones de la marcha atrás de los modelos más antiguos son de dentado recto y no disponen de sincronización, para cambiar a marcha atrás el vehículo debe estar parado. En algunos modelos la marcha atrás también se encuentra sincronizada, como por ejemplo en el Mercedes clase A.

Y a través del grupo:

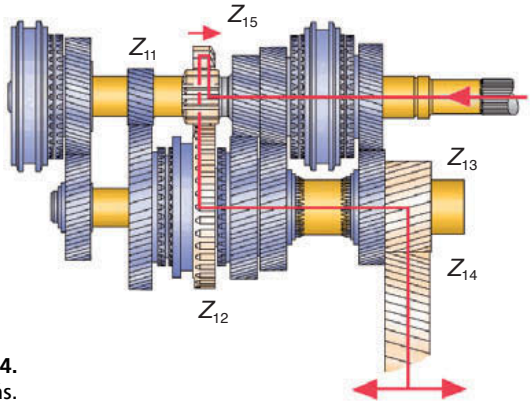
$$Rtf_{5ª} = \frac{Z_{10}}{Z_9} \cdot \frac{Z_{14}}{Z_{13}}$$

$$Rtf_{5ª} = \frac{Z_{10}}{Z_9} \cdot \frac{Z_{14}}{Z_{13}} = \frac{39}{48} \cdot \frac{66}{17} = \frac{2.374}{816} = 3{,}15/1$$

Marcha atrás

Con la caja de cambios en punto muerto, y desplazando el piñón inversor Z_{15}, se engranan los piñones Z_{11} del árbol primario y Z_{12} del carrete desplazable del árbol secundario.

El piñón inversor Z_{15} gira loco produciendo la inversión del giro. En consecuencia, el árbol secundario gira en sentido contrario al resto de velocidades (figura 3.34).



→ **Figura 3.34.** Marcha atrás.

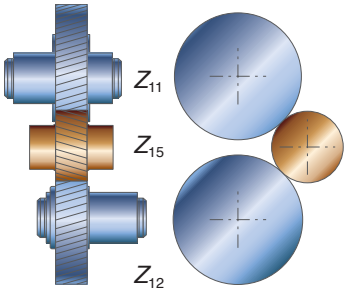
La relación de transmisión será la siguiente:

$$Rt_{ma} = \frac{Z_{15}}{Z_{11}} \cdot \frac{Z_{12}}{Z_{15}} = \frac{Z_{12}}{Z_{11}}; \; Z_{15} \text{ multiplica y divide}$$

Y a través del grupo:

$$Rtf_{ma} = \frac{Z_{12}}{Z_{11}} \cdot \frac{Z_{14}}{Z_{13}}$$

$$Rtf_{ma} = \frac{Z_{12}}{Z_{11}} \cdot \frac{Z_{14}}{Z_{13}} = \frac{35}{11} \cdot \frac{66}{17} = \frac{2.310}{187} = 12{,}35/1$$



↑ **Figura 3.35.** Tren de engranajes del inversor de giro.

saber más

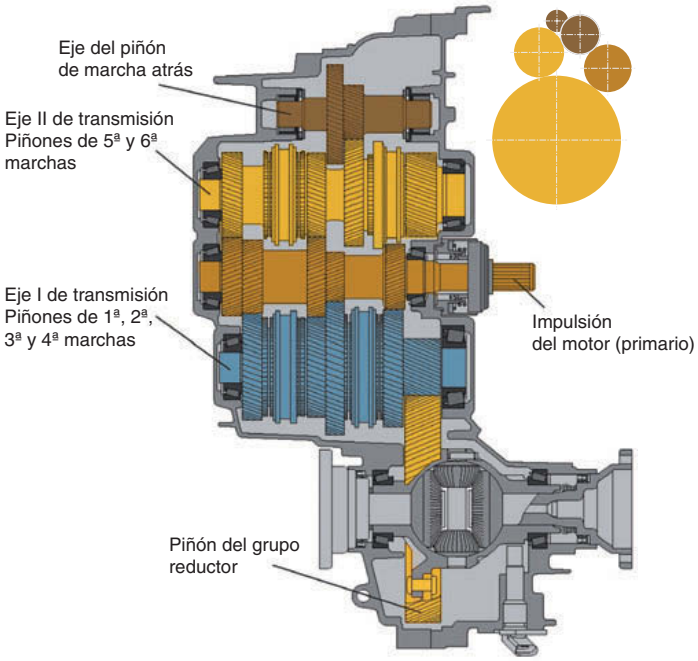
Función del piñón inversor

El piñón inversor Z_{15} no modifica la relación de transmisión, simplemente invierte el sentido de giro.

3.2. Caja de cambios con dos árboles secundarios

Este tipo de cajas de cambios disponen de un árbol primario con piñones solidarios y dos árboles secundarios de toma constante sobre los que se montan los piñones que giran locos y los sincronizadores (figura 3.36). Los piñones de los árboles secundarios están engranados con los piñones del eje primario pero no transmiten par alguno. La transmisión de par y el cambio de velocidad se realiza cuando se hace actuar el sincronizador de la velocidad y se enclava el piñón, que gira libremente con su eje secundario.

Los dos árboles secundarios engranan sobre el mismo piñón helicoidal del grupo diferencial, cuando se encuentra acoplada una velocidad solo transmite par el eje secundario de esa velocidad, el otro eje secundario gira en vacío.



← **Figura 3.36.** Caja de cambios de dos ejes secundarios.

saber más

Origen del cambio DSG

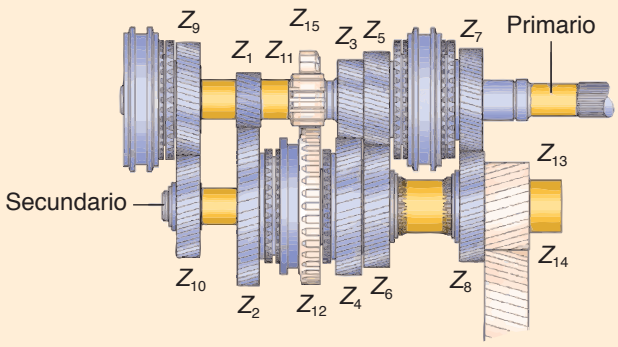
Este diseño de caja de dos árboles secundarios, lo ha empleado el grupo Audi-VW para desarrollar el cambio automatizado con doble embrague DSG.

	MOTOR	
	2,8 ltr. / 150 kW – VR6/4V	
	Rel. transmisión	**Rel. transmisión total**
I marcha / tren de engranajes I	41 : 12 = 3,417	14,351
II marcha / tren de engranajes I	40 : 19 = 2,105	8,841
III marcha / tren de engranajes I	40 : 28 = 1,429	6,002
IV marcha / tren de engranajes I	37 : 34 = 1,088	4,470
V marcha / tren de engranajes II	34 : 31 = 1,097	3,640
VI marcha / tren de engranajes II	31 : 34 = 0,912	3,024
Marcha atrás / tres de engranajes II	(30 : 12) · (23 : 14) = 4,107	13,620
Relación de transmisión / tren de engranajes I	63 : 15 = 4,200	
Relación de transmisión / tren de engranajes II	63 : 19 = 3,316	

← **Tabla 3.5.** Relaciones de transmisión de una caja con dos ejes secundarios.

ACTIVIDADES

4. Calcula las relaciones de transmisión, en las distintas velocidades, a la salida del diferencial de la siguiente caja de cambios de la figura 3.37:



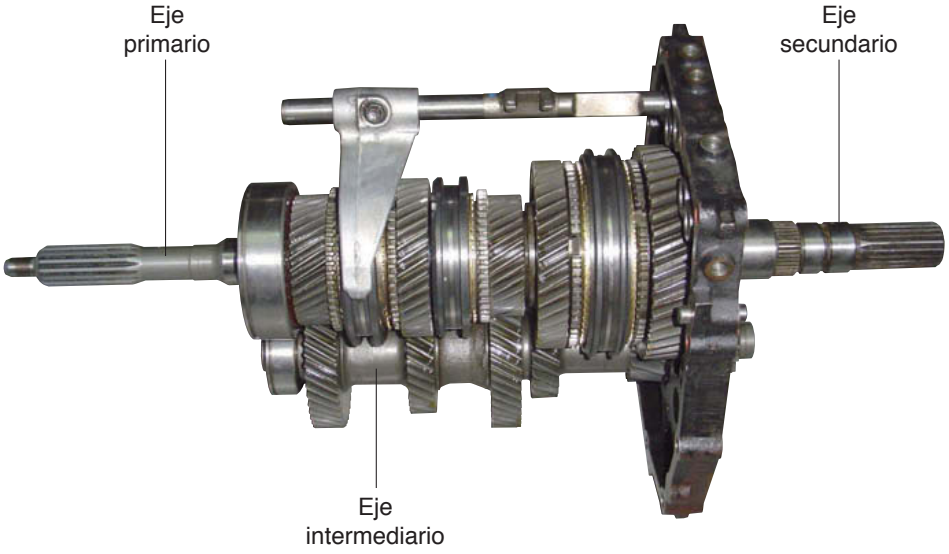
↑ **Figura 3.37.** Caja de cambios.

Velocidad	Primario	Secundario
1ª	Z_1 = 9 d	Z_2 = 34 d
2ª	Z_3 = 17 d	Z_4 = 36 d
3ª	Z_5 = 25 d	Z_6 = 34 d
4ª	Z_7 = 35 d	Z_8 = 34 d
5ª	Z_9 = 45 d	Z_{10} = 34 d
M.A.	Z_{11} = 9 d	Z_{12} = 36 d
Grupo	Z_{13} = 18 d	Z_{14} = 61 d

↑ **Tabla 3.6.** N.º de dientes de la caja de la figura 3.37.

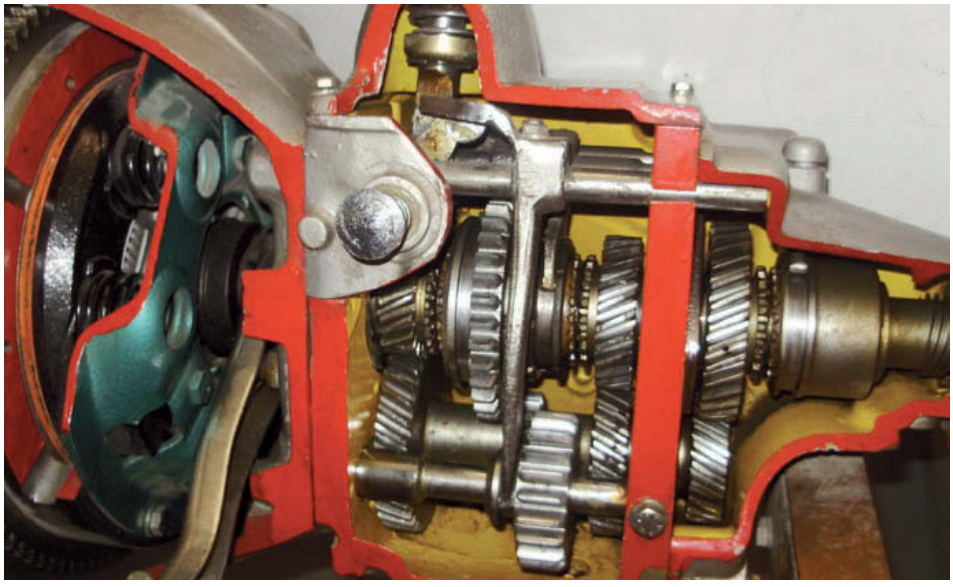
3.2. Cajas de cambios para propulsión trasera y/o tracción total

En este tipo de cajas, el motor suele encontrarse en posición longitudinal. La caja forma un conjunto independiente que acopla en su salida el árbol de transmisión de los vehículos 4x2 o la caja de transferencia en los vehículos 4x4. El giro entra y sale en la misma dirección, lo que obliga a disponer de un eje intermediario (figura 3.38).



→ **Figura 3.38.** Caja de cambios con tres ejes: primario, intermediario y secundario.

- El eje primario es el más corto de los ejes, solamente se encarga de transmitir el movimiento desde el disco de embrague hasta el piñón del tren intermediario (piñón de toma constante).
- El eje intermediario dispone de los piñones que actúan de conductores en las relaciones de transmisión, están fijos y mecanizados en el mismo eje.
- En el eje secundario se encuentran los piñones que giran locos, los sincronizadores y el piñón de marcha atrás. Esta última se forma con tres piñones de dentado recto, uno en el eje intermediario y solidario a él, otro en el secundario entre el piñón de primera y el de segunda, y por último otro que gira loco sobre un eje independiente, llamado «piñón inversor» (figura 3.39).



→ **Figura 3.39.** Caja de cambios manual y propulsión trasera.

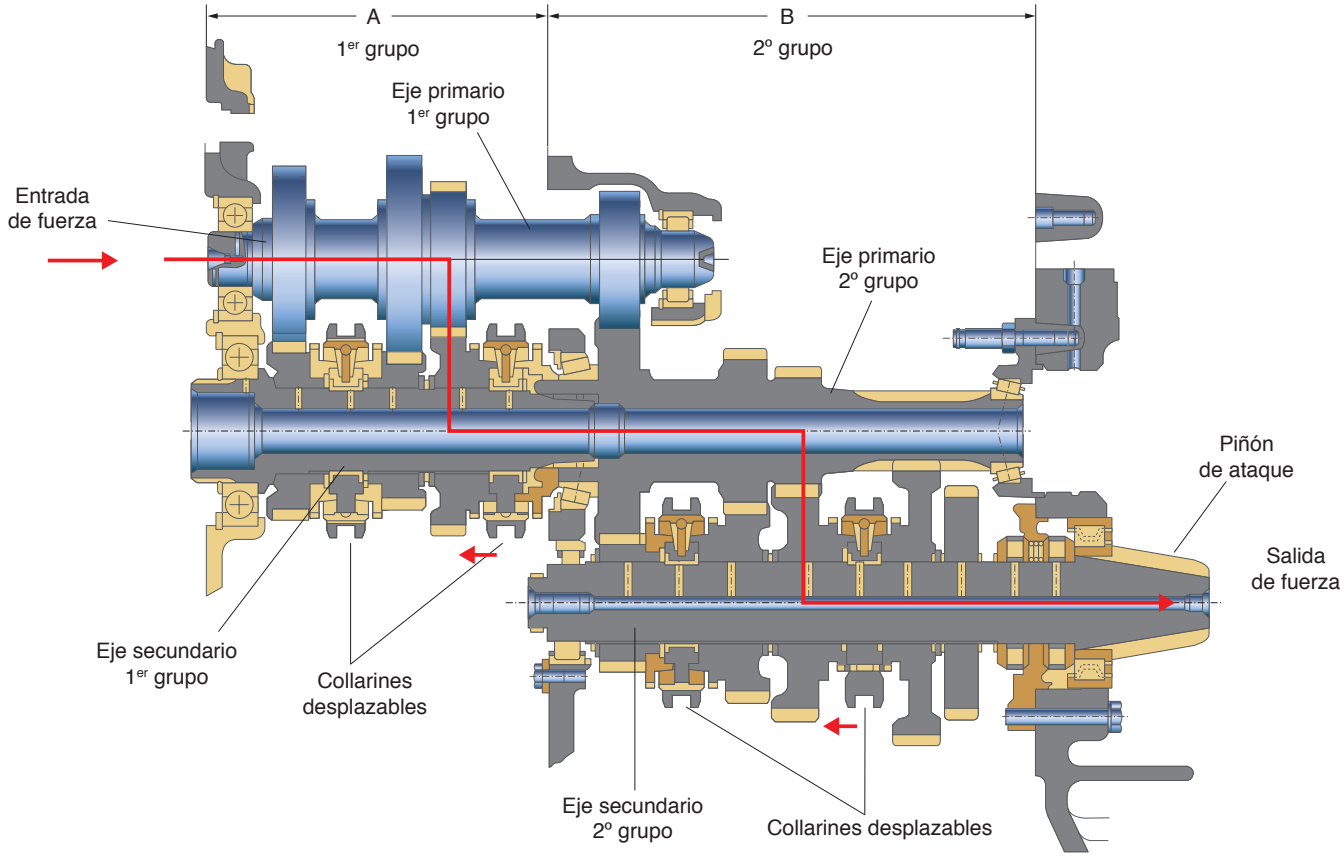
3.3. Cambios con dos grupos

El cambio con dos grupos se emplea en vehículos agrícolas y camiones, en los todo terreno 4x4, se emplean cajas con una sola velocidad conocidas como reductoras.

Las cajas de cambios con dos grupos permiten multiplicar las relaciones de transmisión que dispone una caja normal. El mayor número de velocidades permite adaptarse mucho mejor al trabajo que deben realizar y, de este modo, aprovechar al máximo la potencia del motor.

El cambio dispone de dos conjuntos de engranajes y sincronizadores acoplados en serie.

El vehículo dispone de palancas independientes para seleccionar las velocidades de cada grupo. En la figura 3.40, aparecen seccionados los dos grupos de que dispone el cambio de un tractor agrícola, En este caso no aparece el tren epicicloidal de punto muerto, marcha atrás y marcha adelante, que está entre el embrague y la entrada del grupo A. Con este conjunto se dispone de dieciséis marchas adelante y dieciséis marchas para atrás, cuatro marchas tiene el primer grupo y otras cuatro el segundo.



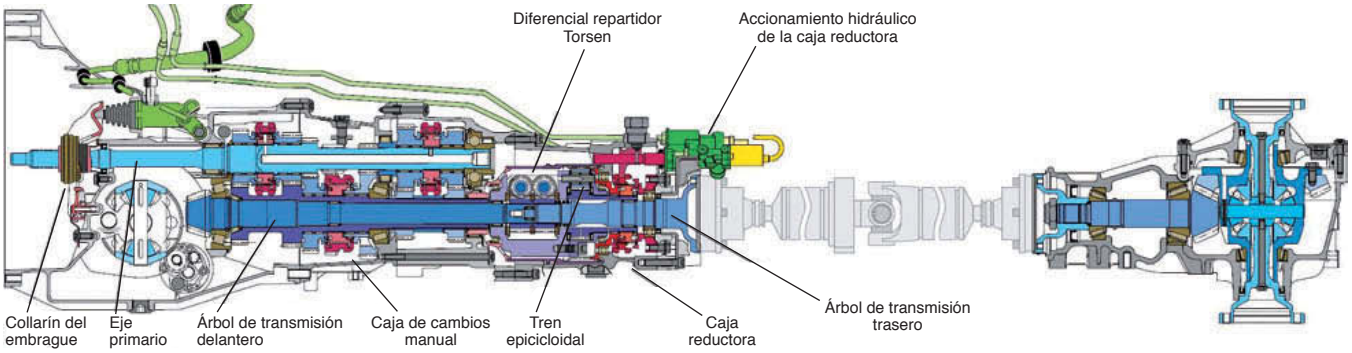
↑ **Figura 3.40.** Caja de cambios con dos grupos con una velocidad seleccionada.

ACTIVIDADES

5. Realiza un croquis del cambio con dos grupos de la figura 3.40 y señala con colores las distintas velocidades que se pueden seleccionar. Señala también el desplazamiento de los collarines de los sincronizadores de cada grupo.

3.4. Caja reductora

La caja reductora se emplea en vehículos 4x4 para circular por caminos y senderos de difícil acceso. Las reductoras solamente tienen una reducción o desmultiplicación, su misión es reducir todas las velocidades de la caja de cambios manual la reducción aplicada, entre 1.5 y 2 a 1. La caja reductora se coloca detrás de la caja de cambios manual (figura 3.41).



↑ **Figura 3.41.** Caja reductora con tren epicicloidal (fuente Audi).

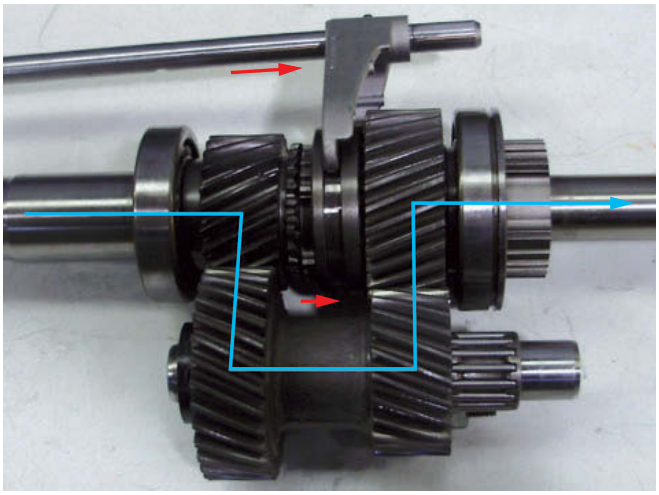
Los mecanismos que emplean las reductoras son similares a los empleados en las cajas de cambios, los más empleados son reducción con parejas de piñones y reducción con un tren epicicoidal. El accionamiento de la reductora se realiza con una palanca similar a la empleada en la caja de cambios manual. En los vehículos de alta gama se emplean accionamientos hidráulicos.

Reductora con pareja de piñones

La reductora con pareja de piñones es el modelo más empleado por su facilidad mecánica y su sencillez. La caja dispone de dos juegos de ruedas dentadas engranadas entre sí colocadas en tres ejes: el primario recibe la fuerza desde la caja de cambio, el eje intermediario transmite el giro con reducción y el eje secundario transmite la fuerza a la salida de la caja, un carrete desplazable acoplador realiza el acoplamiento de las ruedas para seleccionar la reducción.

En la figura 3.42 la caja no realiza desmultiplicación; la relación de transmisión es 1:1, al desplazar la horquilla selectora se acopla la rueda del eje secundario y se realiza la desmultiplicación de 1,8:1 según la figura 3.43.

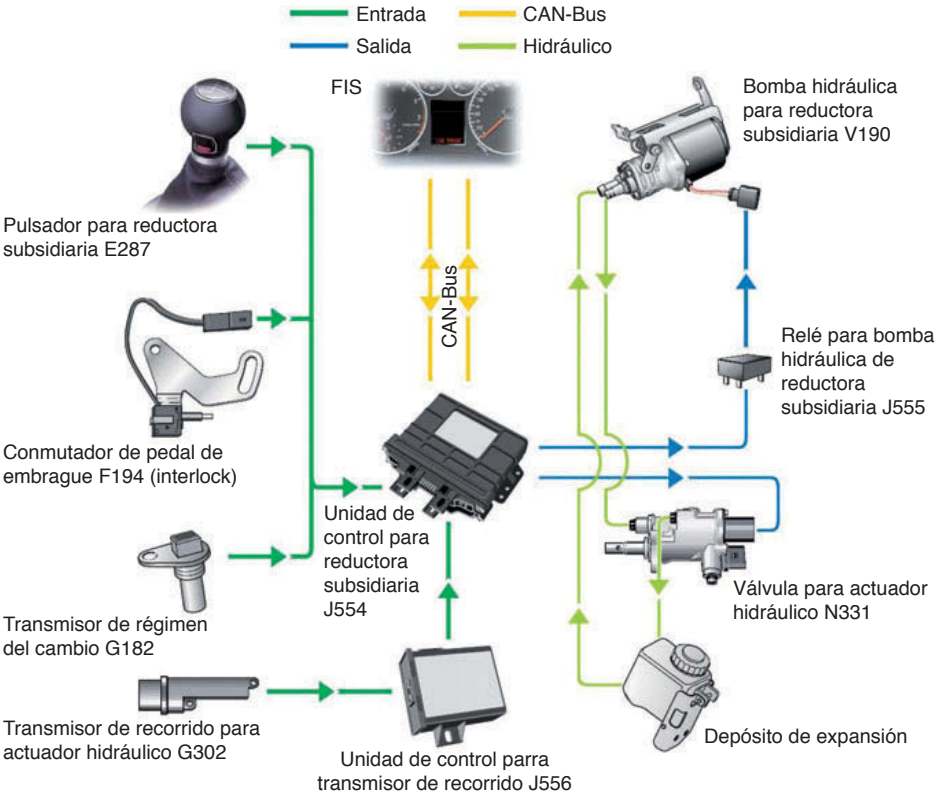
↑ **Figura 3.42.** Caja reductora en directa (sin reducción).



↑ **Figura 3.43.** Caja reductora en desmultiplicación.

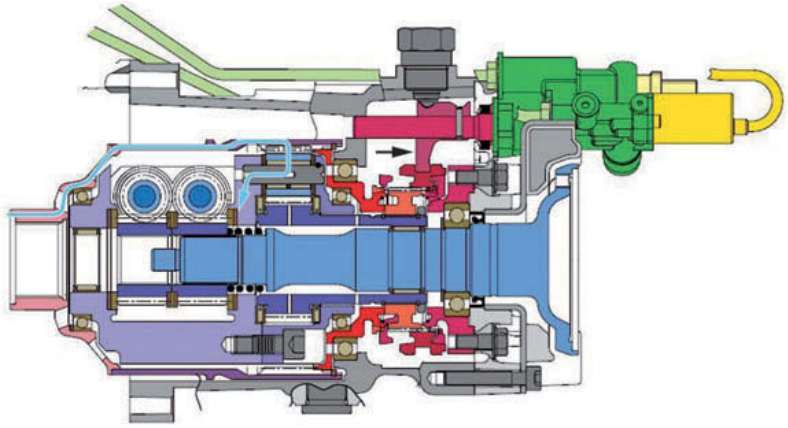
Reductora con tren epicicloidal

La reductora con tren epicicloidal se emplea en modelos 4x4 de gama. La reductora se acciona hidráulicamente y la gestión es electrónica con una unidad de control. El módulo de gestión se encuentra conectado con la red CAN Bus optimizar el funcionamiento del conjunto (figura 3.44).



← **Figura 3.44.** Componentes de la reductora con tren epicicloidal (fuente Audi).

Para acoplar la reducción se actúa sobre el pulsador del pomo y con el embrague pisado sin superar los 30 km. La gestión electrónica comanda el actuador hidráulico para retraerlo al máximo. El manguito de cambio comunica al sincronizador (piñón planetario) con el cuerpo de embrague 2 (solidario con la carcasa) y retiene el piñón planetario del tren reductor. El par motriz se transmite a través de la corona interior hacia el portasatélites. Debido al bloqueo del piñón planetario, los satélites se encargan de impulsar el portasatélites. De esa forma se genera una desmultiplicación de 1,54 (figura 3.45).



← **Figura 3.45.** Reductora con tren epicicloidal y gestión electrohidráulica (fuente Audi).

recuerda

La gestión electrónica de la reductora mejora el funcionamiento del vehículo. Si el conductor alcanza los 70 km/h con la reductora conectada, en el cuadro de mandos parpadeará un testigo luminoso indicativo y una señal acústica para avisar al conductor; si el conductor no respeta el aviso, la potencia del motor se limita electrónicamente para evitar daños en la transmisión.

saber más

Cuando la reductora no se encuentra acoplada, el actuador hidráulico se encuentra extraído. El manguito de cambio acopla al sincronizador (planeta) con el cuerpo de embrague 1 (corona interior), uniendo el piñón planetario con la corona interior. El tren epicicloidal se bloquea y transmite el par motriz 1: 1 hacia el diferencial Torsen.

4. Componentes del cambio

Las cajas de cambios forman un conjunto mecánico de precisión, todos los componentes se encuentran ajustados y continuamente lubricados. Los elementos principales que forman las cajas de cambios son:

- Ruedas dentadas.
- Rodamientos.
- Retenes.
- Sincronizadores.
- Mecanismos de posicionamiento y enclavamiento de las velocidades.

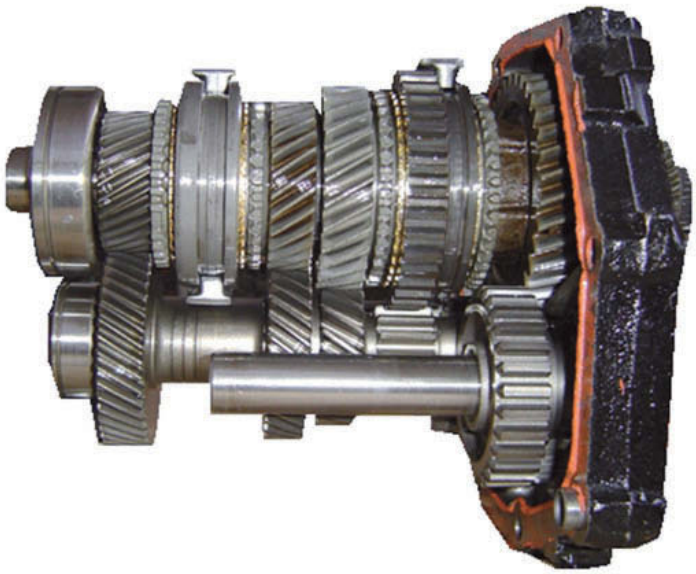
4.1. Ruedas dentadas

caso **práctico** inicial

La caja de cambios del Peugeot 307 emplea piñones helicoidales en todas las velocidades menos en la marcha atrás que emplea piñones de dentado recto.

Las distintas relaciones de transmisión se consiguen empleando ruedas dentadas con distinto número de dientes. La pareja de ruedas dentadas engranadas entre sí se conoce como engranaje. En la transmisión del giro, la rueda que transmite el giro se conoce como rueda conductora y la rueda que recibe el giro rueda conducida.

Las ruedas dentadas pueden tallarse con dientes rectos o helicoidales (figura 3.46).



↑ **Figura 3.46.** Trenes de engranajes de dentado helicoidal y recto.

Ruedas de dentado recto

Los dientes y vanos se tallan paralelos a las generatrices y al eje de las ruedas. Las características de los dientes rectos son las siguientes:

- **La circunferencia primitiva** es la circunferencia imaginaria en la que se efectúa la tangencia entre los dientes de las dos ruedas. El diámetro de la circunferencia primitiva se denomina diámetro primitivo (figura 3.47).
- **El paso circular** es la distancia entre un diente y un vano consecutivo medido sobre la circunferencia primitiva. Para que dos ruedas puedan engranar deben tener el mismo paso circular (figura 3.48).

- **El módulo** es la relación entre el diámetro primitivo en milímetros y el número de dientes de la rueda.

$$M = \frac{d_p}{Z}; \text{ ejemplo } M = \frac{63 \text{ mm}}{21d} = 3$$

Para que dos ruedas de dentado recto engranen entre sí, deben tener el mismo módulo. Los módulos de los piñones están normalizados, igual que los pasos de las roscas.

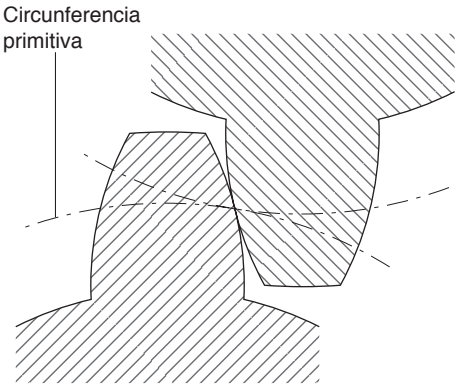
El módulo se puede calcular conociendo el diámetro exterior de la rueda dentada.

$$M = \frac{d_e}{Z + 2}; \; M = \text{módulo}; \; d_e = \text{diámetro exterior}$$

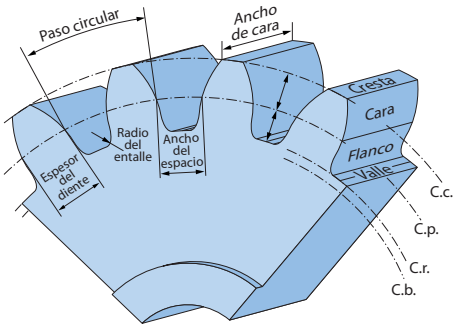
La letra Z indica el número de dientes de la rueda.

saber más

La circunferencia primitiva de una rueda dentada recta, es una circunferencia imaginaria que se encuentra a mitad de la altura del diente de la rueda.Cuando dos ruedas dentadas se encuentran engranadas, sus circunferencias primitivas coinciden en el punto de tangencia de los dientes (fig 3.47).



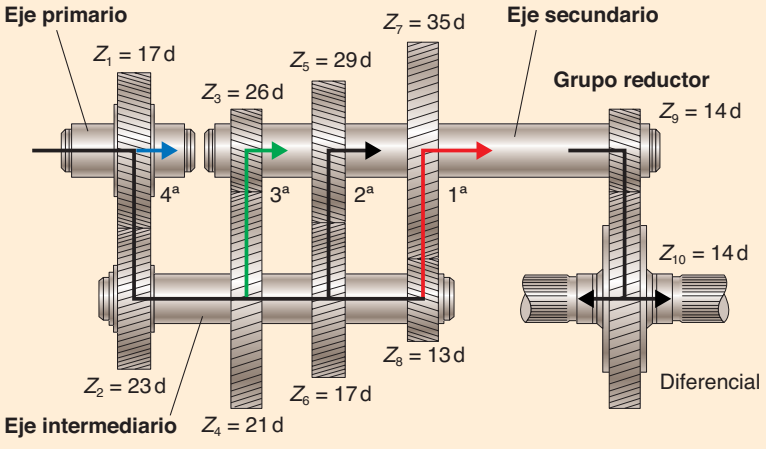
↑ **Figura 3.47.** Punto de tangencia de dos ruedas dentadas rectas.



↑ **Figura 3.48.** Partes de una rueda dentada recta.

ACTIVIDADES

6. Calcula la relación de transmisión a la salida del diferencial en las velocidades 1ª, 2ª, 3ª y 4º.Calcula las revoluciones por minuto de las distintas velocidades conociendo que el cigüeñal gira a 1.000 rpm.



←**Figura 3.49.**

7. Calcula el módulo del juego de ruedas dentadas que forman la marcha atrás, en un cambio del que dispongas en el taller, midiendo el diámetro exterior y el número de dientes Z.

↑ **Figura 3.50.** Piñón con dentado helicoidal.

saber más

Carga estática y carga dinámica

Carga estática es la carga máxima en kilogramos (fuerza) que soporta el rodamiento en reposo sin que se deteriore.

Carga dinámica es la máxima carga en kilogramos (fuerza) que puede soportar en movimiento sin deteriorarse, en un millón de vueltas.

Engranajes helicoidales

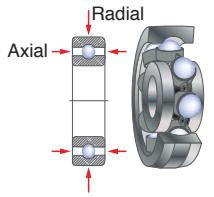
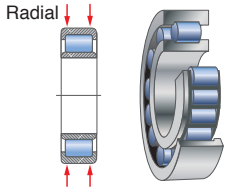
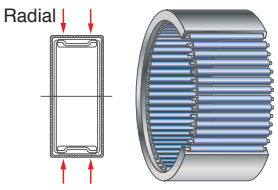
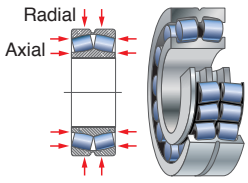
En los engranajes helicoidales, los dientes están tallados en forma de hélice (figura 3.50). El dentado helicoidal de las ruedas dentadas se emplean en la mayoría de las cajas de cambios, excepto en los piñones de marcha atrás.

El funcionamiento de los engranajes con dentado helicoidal es más suave y silencioso que en los engranajes con dentado recto, el inconveniente de los engranajes helicoidales son los esfuerzos axiales que generan y que los rodamientos de los ejes deben soportar. Para definir sus características hay que considerar los tres pasos que tienen: paso circunferencial, paso normal y paso helicoidal y los dos módulos: el módulo circunferencia y el módulo normal.

4.2. Rodamientos

Los rodamientos se montan para facilitar el giro de los ejes de la caja en sus alojamientos. Los rodamientos reducen el rozamiento y el desgaste facilitando el giro y alargando los periodos de mantenimiento de las cajas de cambios. Los rodamientos empleados en las cajas de cambios se lubrican con el aceite de la caja.

Los rodamientos más empleados en las cajas de cambios son: de bolas, de rodillos cilíndricos, cónicos y de agujas. En la tabla siguiente se analizan las ventajas e inconvenientes, así como los tipos de esfuerzos que pueden soportar cada tipo de rodamiento.

	Ventajas	Inconvenientes	Esfuerzo soportado
Rodamientos de bolas de una o dos hileras.	Altas velocidades de giro. Soportan cargas medias radiales.	Soportan cargas axiales muy pequeñas.	
Rodamientos de rodillos cilíndricos.	Soportan grandes cargas radiales.	No permiten cargas axiales.	
Rodamientos de agujas.	Se pueden montar con poca diferencia de diámetros entre ejes. Los propios ejes pueden hacer de pista.	Soportan grandes cargas radiales. No permiten cargas axiales.	
Rodamientos de rodillos cónicos.	Soportan grandes cargas axiales y radiales.	Necesitan un reglaje de precarga en el montaje.	

↑ **Tabla 3.7.** Rodamientos empleados en cajas de cambios.

4.3. Retenes

En el interior de la caja de cambios se encuentra el aceite de engrase de los mecanismos, conocido como «valvulina». La caja de cambios se encuentra sellada con juntas en todas las tapas y retenes en los ejes de entrada y salida de fuerza de la caja (figura 3.51), el retén evita pérdidas de aceite en los ejes de giro.

Los retenes se fabrican con caucho sintético sobre una carcasa metálica que configura el diámetro exterior. El diámetro interior se forma por medio de un muelle y un labio anular de goma que impide la pérdida de aceite en el eje.

Algunos retenes tienen sentido de montaje y giro, el cual se indica mediante una flecha impresa en el retén.

↑ **Figura 3.51.** Retén del eje primario.

4.4. Sincronizadores

Los sincronizadores tienen la misión de igualar las velocidades de giro de los piñones cuando se desplaza el carrete para enclavar una velocidad, y sus ejes, evitando así que rasquen las velocidades al cambiar de marcha.

Cuando un conjunto sincronizador se encuentra desgastado y no frena el piñón la velocidad rasca.

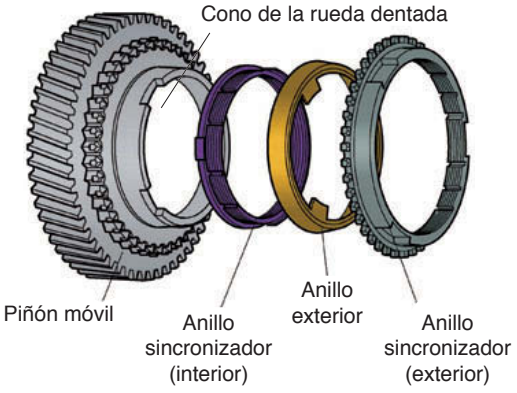
Las primeras cajas de cambios no incorporaban sincronizadores y para seleccionar una velocidad, el piñón se desplazaba y engranaba con su pareja del otro eje fijo. Las ruedas dentadas tenían que ser de dientes rectos y en cada cambio de velocidad para engranar una rueda con su pareja sin que rascaran las velocidades de los ejes debían de ser iguales.

La sincronización en cajas sin sincronizadores se realizaba a oído mediante doble embrague o con el vehículo parado.

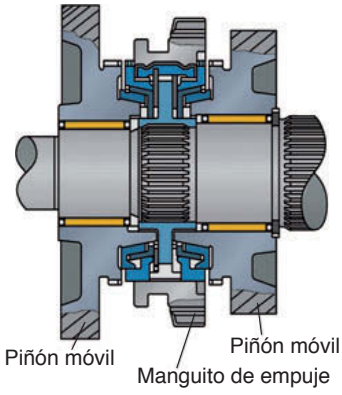
La incorporación de cajas de cambios con ruedas helicoidales y toma constante no permite desplazar los piñones como en la de dentado recto. Un piñón de la pareja del engranaje gira loco en su eje y el mecanismo sincronizador iguala las velocidades y enclava el piñón con su eje permitiendo cambiar de velocidad sin parar el vehículo.

caso **práctico** inicial

La avería que tiene la caja de cambios del Peugeot se encuentra en el conjunto sincronizador de la 2ª velocidad, todo parece indicar que el anillo del sincronizador no frena el piñón móvil y rasca la velocidad.



↑ **Figura 3.52.** Despiece de un conjunto sincronizador.



↑ **Figura 3.53.** Sincronizador doble.

↑ **Figura 3.54.** Collarín desplazable y sincronizadores.

ACTIVIDADES

8. Investiga de qué material están fabricados los piñones de las cajas de cambios y las aleaciones de los sincronizadores.

saber más

Selección y enclavamiento de velocidades

Si el anillo del sincronizador se desgasta no consigue frenar el cono del piñón; el piñón sigue girando y la velocidad rascará. Un sincronizador desgastado provoca que la velocidad rasque al enclavarla.

Funcionamiento del conjunto sincronizador

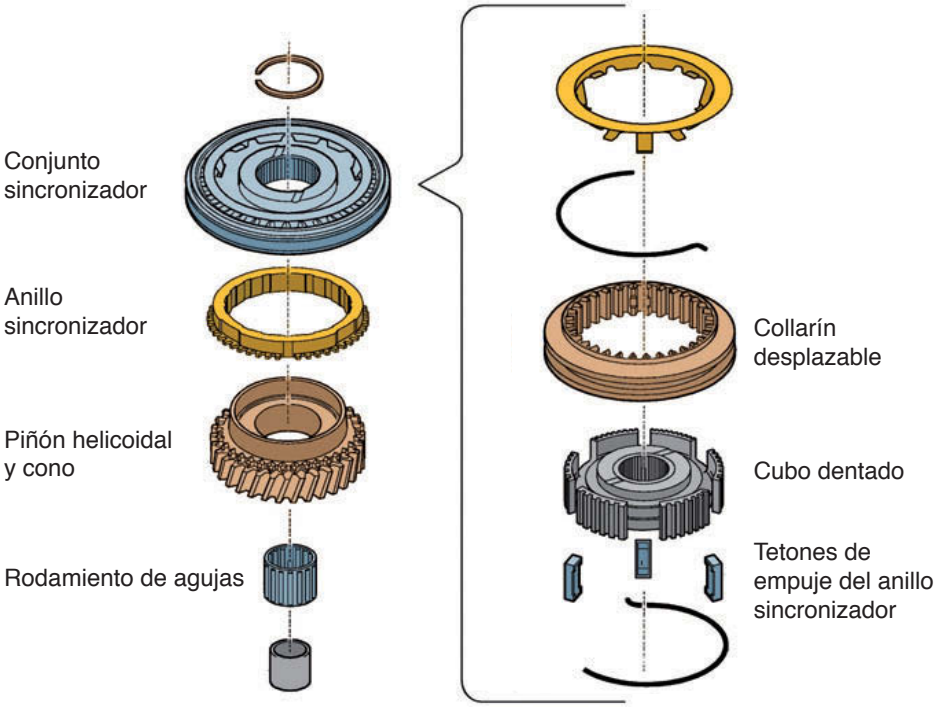
Se conoce como sincronizador el conjunto mecánico encargado de acoplar las ruedas dentadas helicoidales que giran locas, en su eje. El sincronizador actúa cuando el conductor desplaza la palanca de marchas y desplaza el collarin, el anillo del sincronizador frena la rueda que gira loca y el acoplamiento se realiza de forma suave sin que las velocidades rasquen.

El conjunto sincronizador está formado por los siguientes componentes:

- **El collarín desplazable** que es movido por la horquilla de selección desde la palanca selectora de velocidades del puesto de conducción.
- **El cubo dentado** se encuentra anclado al eje por un estriado. El cubo dentado dispone de unas bolas fiadoras y muelles que fijan el collarín. Los conos de las ruedas dentadas helicoidales giran locos en el eje. Una vez engranada la velocidad, el movimiento se transmite por el collarín hacia el eje por el cubo dentado.
- **Los anillos sincronizadores** se encuentran entre el cono del piñón y el collarín desplazable. Cuando se intenta seleccionar una velocidad, el mecanismo del sincronizador (tetones) empuja el anillo sincronizador que roza con el cono de la rueda dentada y la frena, igualando las velocidades de los dos ejes, lo que permite el engranaje suave del collarín con el estriado de la rueda e introducir de este modo una velocidad en la caja de cambios. Existen muchos tipos y modelos de sincronizadores, figuras 3.55 y 3.56 pero todos emplean un principio de funcionamiento común, frenar el piñón que gira loco y más rápido empleando anillos sincronizadores de cono. Cuando en el sincronizador se emplea un cono y un anillo sincronizador, se conoce como sincronización sencilla o simple. En sincronizadores que emplean un anillo interpuesto entre el cono y el anillo sincronizador, el numero de superficies de contacto aumenta y la sincronización se refuerza al existir dos superficies de contacto, a este tipo de sincronización se conoce como sincronización doble.

↑ **Figura 3.55.** Piñón y anillo de sincronización simple.

↑ **Figura 3.56.** Conjunto sincronizador de cono interior.

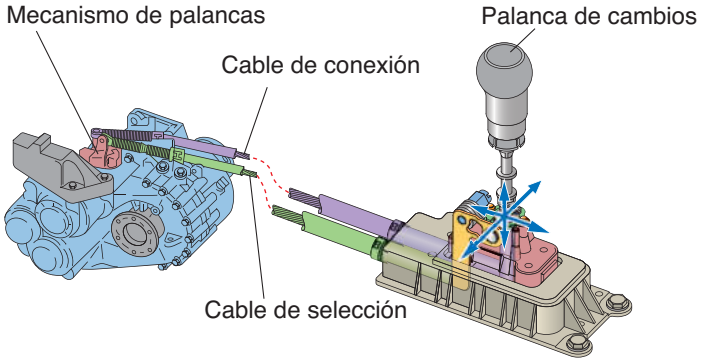


↑ **Figura 3.57.** Despiece de un sincronizador.

4.5. Mecanismos de posicionamiento y enclavamiento de las velocidades

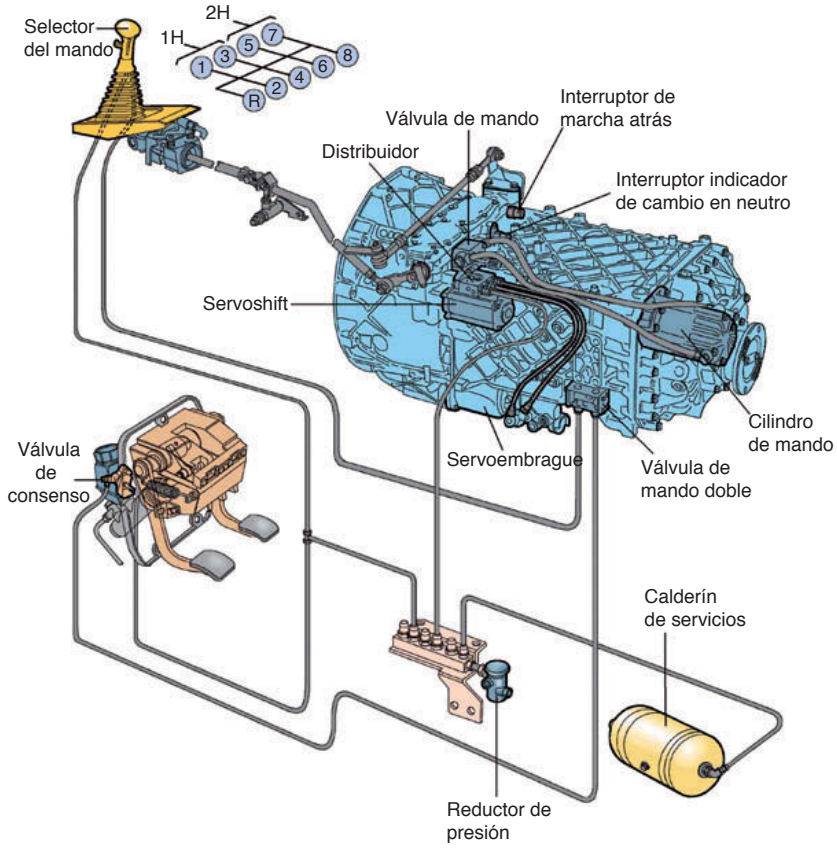
En las cajas manuales, la selección de las velocidades se realiza por el conductor del vehículo, desde el puesto de conducción, mediante la palanca de cambios y el mecanismo de unión y accionamiento. Los automóviles emplean como mecanismo de accionamiento cables tipo Blowden y varillas.

El desplazamiento de la palanca se transmite mediante los cables al dispositivo de accionamiento de la caja de cambios a través de su movimiento, desplaza un mecanismo de varillas (figura 3.58). Las varillas llevan ancladas las horquillas que acoplan en los collarines de los sincronizadores.



← **Figura 3.58.** Mecanismo de selección de velocidades con cables tipo Blowden.

En los vehículos industriales camiones y autobuses se emplean sistemas mixtos, mecánicos y neumáticos (figura 3.59).



← **Figura 3.59.** Mecanismo de accionamiento mecánico y neumático (fuente Iveco).

caso práctico inicial

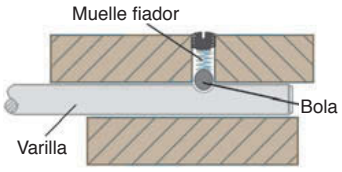
El Peugeot 307 que Javier ha probado dispone de un accionamiento de las velocidades con palanca y cables.

recuerda

El cable tipo Blowden se encuentra enfundado en una camisa de acero elástica que se puede doblar y adaptar a las curvas. El accionamiento por cables reduce las vibraciones que se transmiten desde la caja a la palanca de cambios.

Cuando se sustituyen los cables es necesario realizar el reglaje de la palanca de cambios y los mecanismos de selección de la caja.

4.6. Mecanismos de enclavamiento de las velocidades



↑ **Figura 3.60.** Mecanismo de enclavamiento.

Las varillas disponen de un dispositivo de fijación o enclavamiento. El mecanismo de fijación se encarga de enclavar la varilla y evitar que las velocidades se puedan salir con las vibraciones de la caja de cambios El dispositivo de fijación más empleado es la bola y muelle fiador (figura 3.60); la bola presiona la varilla y evita que las velocidades se salgan.

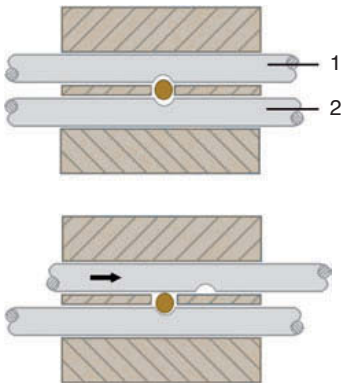
La varilla dispone de una escotadura o muesca de medida aproximada al diámetro de la bola fiadora. La presión del muelle sobre el fiador impide que la varilla se desplace por las diversas vibraciones de la caja.

↑ **Figura 3.61.** Muescas de las varillas.

4.7. Dispositivos que impiden la selección de dos velocidades (interbloqueo)

Las cajas de cambios manuales disponen de un sistema o mecanismo que evita que una vez seleccionada una velocidad otra pueda engranarse. Si dos velocidades se engranasen por un fallo del interbloqueo, la caja no puede funcionar y se rompería (es imposible el funcionamiento con dos relaciones de transmisión al mismo tiempo). Los dispositivos de interbloqueo más empleados son los siguientes:

- **Interbloqueo con calas y bolas entre las varillas.**
- **Interbloqueo tipo cerradura.**

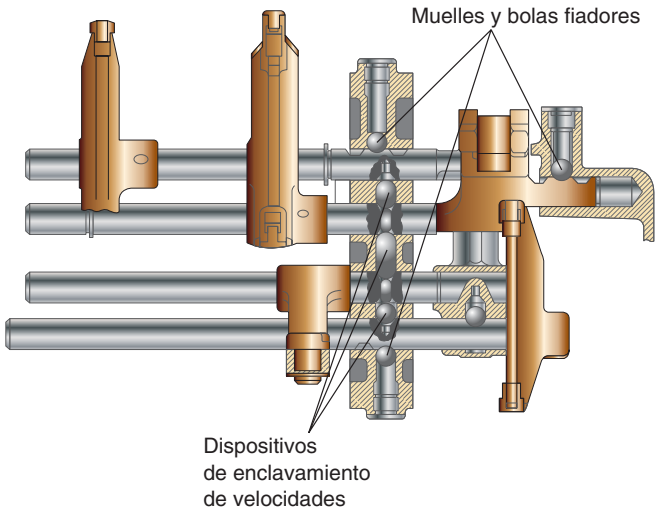


↑ **Figura 3.62.** Mecanismo de interbloqueo con bola.

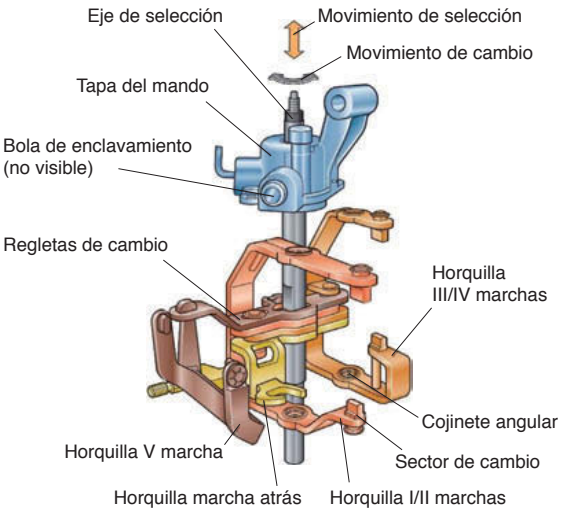
En el mecanismo de interbloqueo con calas se interponen las calas o bolas entre las varillas (figura 3.62). Al desplazarse una varilla para que entre una velocidad, la holgura de la bola en la ranura de la varilla permite su desplazamiento, y, a su vez, deja enclavada (interbloqueada) las restantes varillas, lo cual impide su movimiento hasta que no vuelva la varilla engranada (1) a su posición neutra.

Todas las varillas de la caja están interrelacionadas entre sí con dispositivos que actúan entre las varillas e impiden que con una velocidad seleccionada, se pueda mover otra varilla y engrane otra velocidad al mismo tiempo (figura 3.63).

El interbloqueo tipo cerradura, emplea un mecanismo que al desplazar la regleta de la horquilla de una velocidad, el diseño del eje de selección impide que las restantes regletas se puedan mover, resultando mecánicamente imposible que otra velocidad se enclave (figuras 3.64, 3.5 y 3.36).



↑ **Figura 3.63.** Conjunto de interbloqueo con calas y bolas.



↑ **Figura 3.64.** Mecanismos de interbloqueo tipo cerradura.

5. Mantenimiento de las cajas de cambios manuales

La operación principal de mantenimiento es la sustitución del aceite y el control de su nivel.

Las cajas necesitan el aceite para lubricar los rodamientos, las ruedas dentadas y los sincronizadores, es decir, todos los mecanismos interiores de las mismas. El aceite que se emplea en la mayoría de cajas de cambios (conocido como **valvulina**) tiene una viscosidad comprendida entre el SAE 60 hasta el SAE 90.

El aceite empleado en cajas de cambio debe cumplir los siguientes requisitos:

- La viscosidad tiene que variar lo menos posible con el incremento de la temperatura.
- Resistir bien el envejecimiento (mantener sus propiedades en un largo periodo de kilómetros).
- Poca tendencia a formar espuma.
- Compatibilidad con diferentes selladores y aditivos.

↑ **Figura 3.65.** Llenado de aceite con la jeringa de carga.

Especificación	Utilización
GL1 a GL3	De poca importancia en la actualidad
GL4	Para engranajes hipoides de poca carga Engranajes de altas velocidades
GL5	Para engranajes hipoides de altas prestaciones

↑ **Tabla 3.8.** Clasificación API de aceites de cambios manuales.

La sustitución del aceite de la caja se debe realizar siguiendo las recomendaciones del fabricante en cuanto a las cantidades y periodos de sustitución, en algunos modelos el aceite es para toda la vida útil del modelo.

Por ejemplo, para una caja de cambios modelo 02K de cinco velocidades, del grupo VW-Audi, las especificaciones son las siguientes:

- API GL4, SAE 75W (hipoide).

En tractores, algunos fabricantes emplean el mismo aceite en la caja de cambios y en el circuito hidráulico, dirección y frenos.

En motocicletas de cuatro tiempos, el aceite del motor es el mismo que el del cambio y su mantenimiento resulta en conjunto. El aceite recomendado suele ser multigrado SAE 10W40 y SAE 20W50.

saber más

Aceites especiales

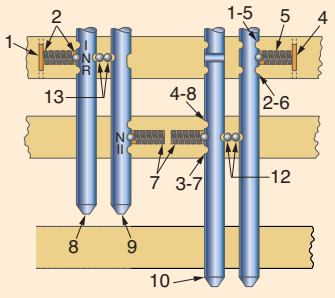
Para suavizar el funcionamiento de las cajas de cambios, existen aceites y aditivos a base de bisulfuro de molibdeno que, gracias a sus pequeñas partículas abrasivas, permiten acoplar correctamente los engranajes y suavizar el cambio (figura 3.66).

↑ **Figura 3.66.** Aditivo para caja de cambios manual.

ACTIVIDADES

9. Indica en tu cuaderno, en el siguiente sistema de varillaje del cambio (figura 3.67), el número de los muelles fiadores y de las bolas de interbloqueo.

Explica en qué consiste la función de los muelles fiadores y las bolas o calas de interbloqueo en las cajas de cambios manuales.



→ **Figura 3.67.** Dispositivos de fijación e interbloqueo.

6. Diagnóstico de averías

Las averías más importantes que se producen en las cajas de cambios se deben a los siguientes factores:

- Desgaste de componentes sometidos a fricción, rodamientos, sincronizadores, horquillas y carretes desplazables.
- Falta de lubricación por pérdidas de aceite.
- Rotura de órganos mecánicos por sobrecarga.

En la tabla 3.9 se resumen las principales averías del cambio manual, las causas que las pueden provocar y los componentes mecánicos a revisar o sustituir.

saber más

Seguridad y tratamiento de residuos

El aceite de la caja de cambios usado se debe almacenar en recipientes herméticos. La retirada del taller la debe realizar un gestor autorizado para su reciclaje.

saber más

Relación de embrague y caja de cambios

El embrague y la caja de cambios están relacionados entre sí, por ejemplo, si tenemos fallos en el embrague, pueden aparecer ruidos en la caja (las velocidades rascan) y no ser causa de esta, sino de un desembrague defectuoso.

Avería	Causa	Revisar o sustituir
Ruidos extraños	• Holgura excesiva de los engranajes. • Rodamientos desgastados. • Anillos sincronizadores deteriorados. • Falta de aceite.	• Comprobar los engranajes. • Revisar los rodamientos y elementos sometidos a desgastes con medidas fuera de cota del fabricante. • Verificar el nivel de la caja.
Rascan todas las velocidades al seleccionarlas	• Embrague en mal estado o mal regulado. • Dispositivo de selección defectuoso o mal reglado (varillas, cables, etc.).	• Revisar el embrague y el sistema de accionamiento. • Comprobar el mecanismo de selección de la caja.
Rasca una velocidad	Sincronizador de dicha velocidad desgastado.	Cambiar el sincronizador.
Se sale una velocidad	• Muelle fiador roto o desgastado. • Ranura de la varilla desgastada. • Holgura excesiva entre la horquilla y el cubo del sincronizador.	Verificar los muelles, la ranura de la varilla y la holgura entre la horquilla y el cubo o carrete desplazable.
Dureza en la selección de velocidades	• Suciedad en el cambio. • Varillas en mal estado. • Desgaste en las horquillas y cubos de los sincronizadores.	Limpiar el cambio y verificar las varillas y las horquillas.

↑ **Tabla 3.9.** Averías más frecuentes en las cajas de cambios manuales.

7. Desmontaje, verificación y montaje de la caja de cambios

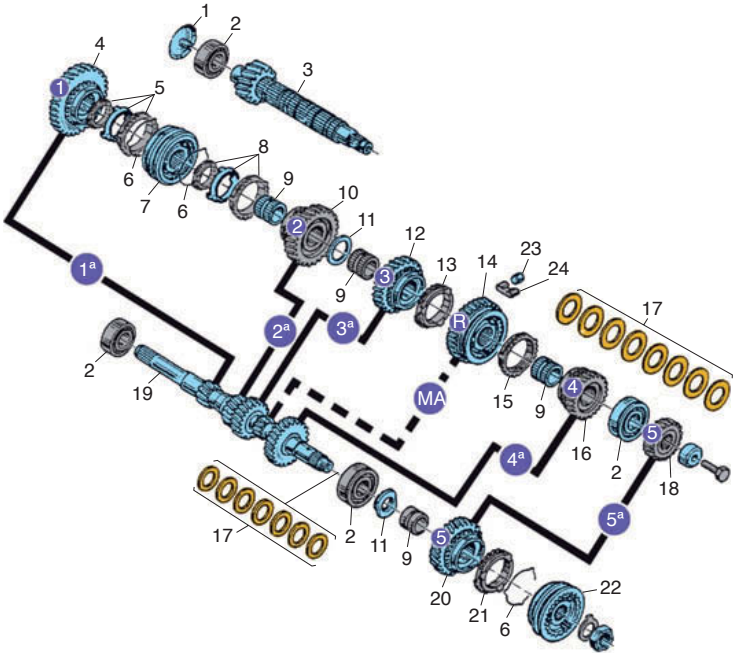
Según el tipo de avería que presente la caja, la reparación se puede realizar sin separar la caja de cambios del motor o separándola y extrayendo la caja y realizando los trabajos de desmontaje y verificación con la caja montada en un soporte (figura 3.68).

Las reparaciones que se realizan sin desmontar la caja son todas las relacionadas con los dispositivos de selección de las velocidades, ajustes de varillas, cables, etc. En las averías de sincronizadores, piñonería y rodamientos en la mayoría de las cajas es necesario desmontarla del vehículo y realizar la sustitución del componente dañado.

Veamos un ejemplo del proceso de reparación con separación, extracción y reparación de una caja.

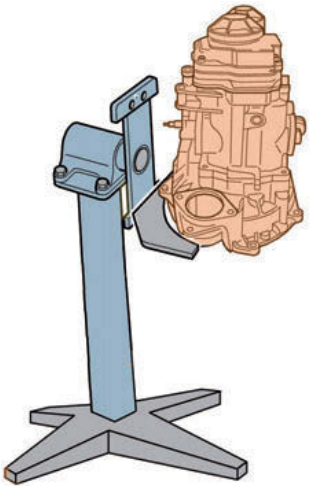
- En primer lugar, se debe extraer el aceite del interior del cambio, para ello se desenroscará el tornillo de vaciado dejando caer el aceite en un contenedor hasta que se vacíe completamente (figura 3.69).
- Desmontar todos los componentes mecánicos que se encuentran alojados en la carcasa del cambio: motor de arranque, accionamiento del embrague, captador de posición y rpm del motor, etc. y los componentes que rodean la caja de cambios y que es necesario quitar para poder acceder a los tornillos de fijación de la caja.
- Desmontar el mecanismo de accionamiento selector de velocidades.
- Desmontar los semiárboles de transmisión en las cajas de cambios con tracción delantera.
- Emplear un gato hidráulico adecuado para sujetar y extraer la caja, una vez separada de las fijaciones al motor y chasis.

El desmontaje de la caja es un proceso laborioso y se debe realizar siguiendo las indicaciones del fabricante, en la figura 3.70 aparece el despiece de una caja de cambios de dos ejes con los sincronizadores montados en el eje secundario.



PIÑONERÍA
1. Cánula
2. Rodamientos de rodillos
3. Eje secundario
4. Piñón de 1
5. Sincronizador de 1
6. Muelles de armado del sincronizador
7. Cubo desplazable
8. Anillo de sincronización
9. Rodamientos de agujas
10. Piñón de 2
11. Arandelas
12. Piñón de 3
13. Sincronizador de 3
14. Piñón de marcha atrás y desplazable de 3/4
15. Sincronizador de 4
16. Piñón de 4
17. Arandelas de calado
18. Piñón de 5
19. Eje primario
20. Piñón de 5 (tren fijo)
21. Sincronizador de 5
22. Cubo desplazable de 5
23. Rodillo
24. Muelle de rodillo

↑ **Figura 3.70.** Despiece de un cambio.



↑ **Figura 3.68.** Soporte de caja de cambios.

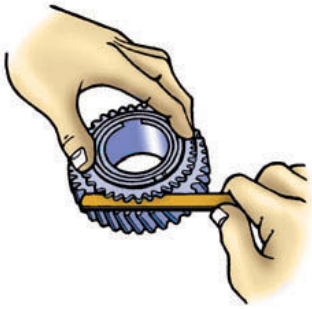
↑ **Figura 3.69.** Vaciado del aceite del cambio.

caso **práctico** inicial

La caja de cambios del Peugeot 307 tiene un despiece similar al de la figura 3.70 y el componente dañado en la caja de cambios del caso inicial sería el señalado con el número 8.

Verificación del estado del anillo sincronizador y del desgaste de la horquilla y el carrete desplazable

↑ **Figura 3.71.** Cota «a» del desgaste de un anillo del sincronizador.



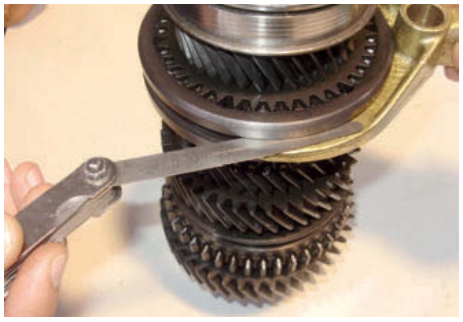
↑ **Figura 3.72.** Medida de la cota «a» de desgaste en un sincronizador con una galga de espesores.

Los componentes de la caja que deben verificarse, son todos los sometidos a desgaste: anillos sincronizadores, horquillas y carretes, rodamientos, varillas y ruedas dentadas.

Para la verificación del estado del anillo sincronizador se posiciona el anillo sincronizador sobre el cono del piñón y se mide la distancia «cota a» (figura 3.71) empleando las galgas de espesores (figura 3.72). El fabricante nos indica la cota «a» y el límite de desgaste del sincronizador, si la cota «a» real, es menor de la indicada, el anillo del sincronizador no frena el piñón de giro loco y la velocidad rasca.

Para medir la holgura entre la horquilla y el carrete desplazable se emplea una galga de espesor (figura 3.73). La holgura excesiva entre la horquilla y su carrete desplazable puede producir que la velocidad se salga, aunque la varilla se encuentre bien fijada en su garganta con el dispositivo de fijación, muelle y bola fiadora.

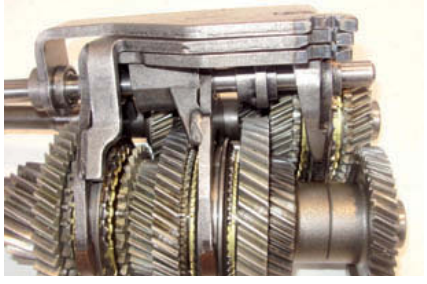
Si los ejes de la caja están montados sobre rodamientos de bolas, no necesitan ajuste. Cuando se montan sobre rodamientos de rodillos cónicos es necesario ajustar y dar la precarga al rodamiento empleando arandelas (figura 3.74).



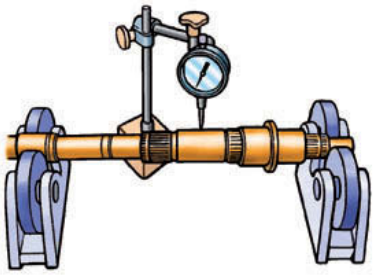
↑ **Figura 3.73.** Medida de la holgura carrete y horquilla.

↑ **Figura 3.74.** Arandela de precarga del rodamiento de rodillos cónicos.

Las varillas deben encontrarse totalmente rectas y su desplazamiento en sus ejes debe realizarse con suavidad (figura 3.75). Los rodamientos, jaulas y las pistas se tienen que encontrar sin desgastes excesivos ni roturas. Los ejes de la caja no deben presentar deformaciones (figura 3.76), las ruedas dentadas se deben mantener sin desgastes excesivos ni rotura de dientes.



↑ **Figura 3.75.** Conjunto de varillas y horquillas.



↑ **Figura 3.76.** Medida de alabeo del eje secundario.

Durante el montaje es necesario sustituir todos los retenes, juntas y anillos tóricos que se emplean para evitar pérdidas de aceite, también es necesario realizar el apriete de los tornillos y tuercas de fijación teniendo al par establecido por el fabricante y respetando el orden si fuese necesario.

Una vez montada en el vehículo, se debe rellenar con aceite nuevo de las características indicadas por el fabricante y comprobar el nivel.

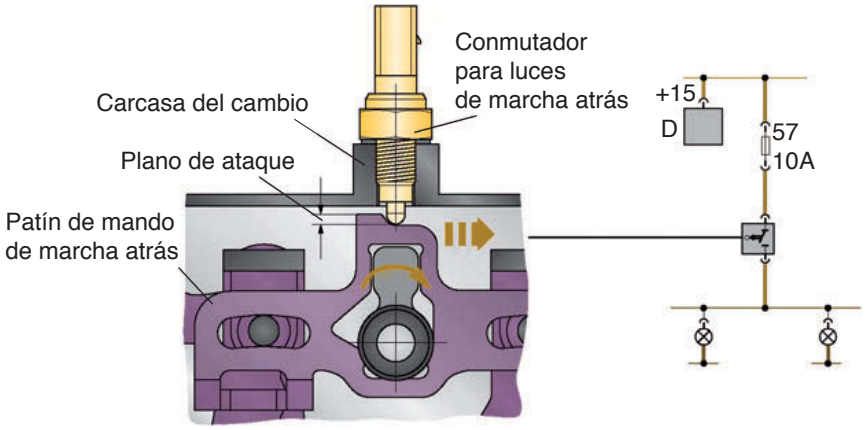
8. Sensores y actuadores del cambio

8.1. Conmutador de luces para la marcha atrás

El circuito de señalización y maniobra indica que el vehículo circula marcha atrás. Mediante una luz blanca en la parte trasera del vehículo, el circuito dispone de un interruptor, conmutador que cierra un circuito de corriente al engranar dicha velocidad. Este conmutador puede ir situado en lugares como en el sistema de palancas (figura 3.77) o enroscado en la carcasa del cambio. El esquema eléctrico es el siguiente (figura 3.78):

recuerda

En los vehículos equipados con el sistema Star-Stop, las cajas de cambios manuales disponen de un captador de la posición de la palanca de cambios.



← **Figura 3.77.** Interruptor de mancha atrás y circuito eléctrico.

8.2. Indicador de la velocidad de marcha

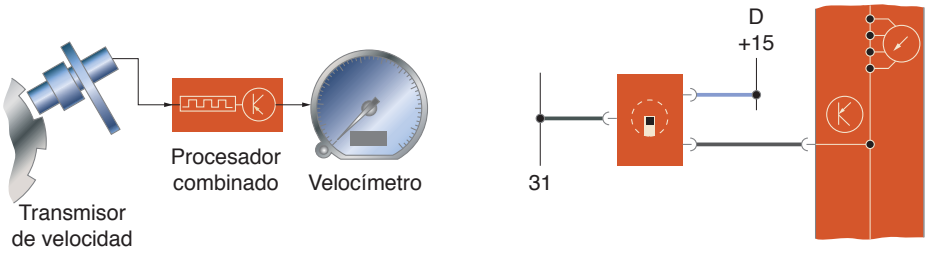
Para conocer la velocidad de marcha del vehículo existen diferentes sistemas que permiten realizar la medición de una manera precisa. Los modelos más antiguos emplean un sistema de cable y piñón sinfín que, en función de las revoluciones del cambio, transmiten el giro del velocímetro indicando la velocidad en el cuenta kilómetros del cuadro.

En la actualidad se utilizan sistemas gestionados electrónicamente que permiten una medición más precisa. Estos trabajan según el principio Hall, captando el régimen de revoluciones desde el cambio o el diferencial (figura 3.79).

Una señal producida por un transmisor de velocidad modula en anchura impulsos y se transmite al procesador combinado del cuadro de instrumentos. En este se interpreta la señal como velocidad para permitir así su conocimiento para los demás sistemas eléctricos.

↑ **Figura 3.78.** Interruptor de marcha atrás de un cambio de un Mercedes clase A.

↑ **Figura 3.79.** Captador y tornillo sinfín del cuenta kilómetros.

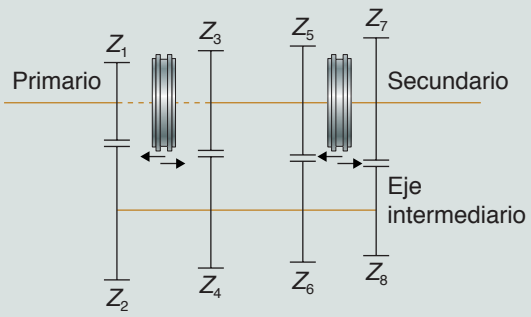


← **Figura 3.80.** Esquema eléctrico del velocímetro.

ACTIVIDADES FINALES

1. ¿Qué misión realiza el conjunto sincronizador en caja? Explica sus principios de funcionamiento.
2. ¿Qué dispositivos impiden la selección de dos velocidades en el cambio? ¿En qué consisten?
3. ¿Cómo funciona el conmutador de luces para la marcha atrás?
4. ¿Qué es una relación de transmisión de una velocidad? Explica cómo se calcula.
5. Calcula las relaciones de transmisión en las distintas velocidades (1ª, 2ª, 3ª y 4ª) del cambio de la figura 3.81.

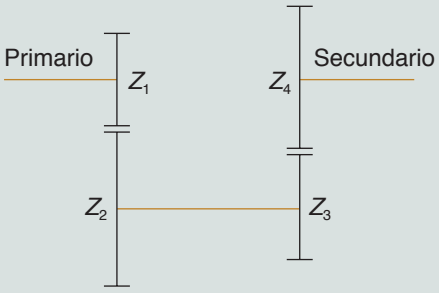
   El cambio dispone de dos conjuntos sincronizadores colocados entre los piñones Z_1 y Z_3; Z_5 y Z_7



Z_1 = 17 dientes
Z_2 = 29 dientes
Z_3 = 21 dientes
Z_4 = 26 dientes
Z_5 = 27 dientes
Z_6 = 20 dientes
Z_7 = 34 dientes
Z_8 = 15 dientes

↑ **Figura 3.81.**

6. Un motor gira a 3.000 revoluciones por minuto proporcionando un par motor de 120 Nm. Calcula el momento de giro que tendrá el eje secundario de un cambio cuyo tren de transmisión es el siguiente:



Z_1 = 19 dientes
Z_2 = 34 dientes
Z_3 = 14 dientes
Z_4 = 39 dientes

↑ **Figura 3.82.**

7. ¿Qué es el diámetro primitivo y el módulo de una rueda dentada de dientes rectos? ¿Qué relación tienen?
8. ¿Pueden engranar entre sí dos ruedas dentadas rectas con distinto módulo? Razona tu respuesta.
9. Enumera los rodamientos que se emplean en las cajas de cambios y explica las características de cada tipo.
10. Tienes que comprar un coche de segunda mano, explica cómo comprobarías que la caja de cambios está en perfecto estado.
11. Si la caja del ejemplo anterior tiene algún defecto o fallo, explica cuál es y su posible reparación.

EVALÚA TUS CONOCIMIENTOS

Resuelve en tu cuaderno o bloc de notas

1. La caja de cambios se encuentra entre:

a. El motor y el embrague.

b. El embrague y el diferencial.

c. El diferencial y la transmisión.

d. La transmisión y el diferencial.

2. ¿En qué unidad de medida se mide el par motor?

a. En kilogramos.

b. En bares.

c. En newton por metro.

d. En caballos.

3. Si al hallar una relación de transmisión, obtenemos el valor de 0,96:1, sin contar con la desmultiplicación del diferencial, ¿de qué velocidad se puede tratar?

a. De la cuarta o quinta velocidad.

b. De la segunda velocidad.

c. De la marcha atrás.

d. De la primera velocidad.

4. ¿Para qué sirve el piñón inversor del cambio?

a. Para realizar la quinta velocidad.

b. Para invertir el sentido de giro entre los ejes y conseguir la marcha atrás.

c. Para transmitir la velocidad entre los diferentes engranajes.

d. Para transmitir el par al diferencial.

5. ¿Qué misión realizan los dispositivos de interbloqueo en las cajas de cambios?

a. Evitan que las velocidades se salgan.

b. Evitar que las velocidades rasquen.

c. Controlar la correcta selección de velocidades.

d. Evitan que dos velocidades se puedan engranar simultáneamente.

6. ¿Cuál es la característica principal de la caja de cambios con dos árboles secundarios?

a. Que permiten el cambio de las distintas velocidades.

b. Que pueden alojar los diversos mecanismos para los cambios de seis velocidades.

c. Que son más ligeras.

d. Que los dos árboles secundarios van montados en toma constante sobre la corona del diferencial.

7. Los engranajes helicoidales son:

a. Más ligeros y ruidosos.

b. Más suaves y silenciosos.

c. Más pesados.

d. Menos silenciosos y ligeros.

8. ¿Qué tipos de rodamientos soportan altas velocidades de giro y cargas medias radiales y axiales muy pequeñas?

a. De rodillos cilíndricos.

b. De rodillos cónicos.

c. De agujas.

d. De bolas.

9. Según la clasificación de aceites API, ¿qué tipo de aceite es recomendado para engranajes hipoides de poca carga?

a. GL4.

b. GL1.

c. GL2.

d. GL5.

10. ¿Qué útil de medida se emplea para medir la holgura entre el carrete y la horquilla de un sincronizador?

a. Un calibre.

b. El reloj comparador.

c. El micrómetro.

d. Las galgas de espesores.

PRÁCTICA **PROFESIONAL**

HERRAMIENTAS

- Herramientas manuales del taller de electromecánica

MATERIAL

- Cambio desmontado del vehículo

Desmontar una caja de cambios

OBJETIVOS

Conocer el proceso para desmontar una caja de cambios de tracción delantera de un VW.

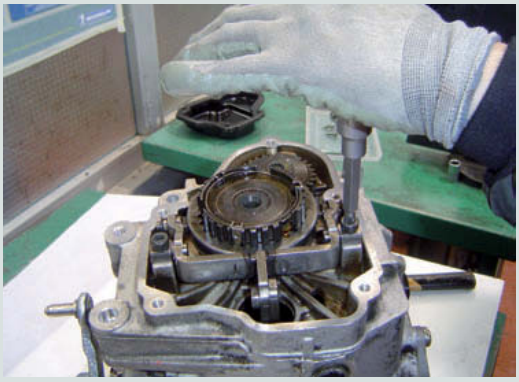
PRECAUCIONES

- Recoger el aceite.
- Apretar los tornillos al par, empleando una dinamométrica.

DESARROLLO

1. Colocar la caja de cambios en un soporte adecuado o sobre un banco de trabajo (figura 3.83). La caja se encuentra limpia exteriormente y el aceite se ha recogido para reciclarlo.
2. Quitar la tapa de chapa negra que protege la 5ª velocidad y desmontar el mecanismo que desplaza el carrete del sincronizador de la 5ª marcha.

↑ **Figura 3.83.** Caja en el banco.



↑ **Figura 3.84.** Desmontar el mecanismo de accionamiento de 5ª velocidad.

3. Desmontar el mecanismo del conjunto sincronizador (figura 3.85).
4. Quitar los tornillos de fijación de los ejes estriados de los semiárboles a sus planetarios y extraerlos (figura 3.86).

↑ **Figura 3.85.** Desmontar piñón secundario 5ª

↑ **Figura 3.86.** Extraer los ejes estriados de los semiárboles.

5. Soltar los tornillos de fijación del mecanismo selector y extraerlo de la caja (figura 3.87).
6. Aflojar y extraer los tornillos de unión de las dos carcasas de la caja (figura 3.88), para poder separar la carcasa superior y tener acceso a todos los componentes.

↑ **Figura 3.87.** Extraer mecanismo selector.

↑ **Figura 3.88.** Aflojar los tornillos de las carcasas.

7. Desmontar los cuatro pivotes centradores de los mecanismos selectores de velocidades (figura 3.89).
8. Separar la carcasa superior del cambio (figura 3.90).

↑ **Figura 3.89.** Pivote centrador del selector.

↑ **Figura 3.90.** Separar la carcasa superior.

9. Sin la carcasa se tiene acceso al mecanismo selector de velocidades y el eje primario y secundario (figura 3.91).
10. Desmontar el mecanismo selector y desmontar los ejes primario y secundario (figura 3.92). Tras esto, la caja se encuentra desmontada.

↑ **Figura 3.91.** Mecanismo selector de velocidades.

↑ **Figura 3.92.** Desmontaje de los ejes.

MUNDO **TÉCNICO**

Caja ¿automática o manual?

Elegir entre caja automática o manual no tiene por qué ser un dilema. Ni tampoco se trata de una guerra encarnizada de las marcas de vehículos para captar adeptos.

Es que aún en Argentina el consumidor puede elegir —en algunas marcas y modelos— si desea una u otra caja. Aunque es cierto que si bien la industria automotriz apunta a establecer la caja automática como prioritaria, en Argentina aún muchos se resisten a adquirirla y prefieren la tradicional, de cambios manuales.

Antes que nada hay que entender que la diferencia básica —y más importante— entre conducir un vehículo automático y uno manual es que en el automático no se hace uso del embrague; ya que el cambio se efectúa de forma automática.

Pero, ¿cuáles son las ventajas de una u otra? Aquí, Mariano Vega —consejero técnico de Peugeot— aporta algunos puntos para tener en cuenta.

Automática

Consume un poco más de combustible que la manual, ya que obliga al motor a «llevar arriba» las revoluciones por minuto.

En cuanto a la manutención tienen una gran vida útil. De hecho, el aceite de una caja automática es de por vida, en muchos modelos. Es muy raro que se rompa.

Incluso muchas cajas, si se dañan, se tienen que cambiar; solo algunas marcas se pueden reparar. Pero casi nunca se rompen.

Aportan comodidad y confort al conductor. Y, en ciudades o cuando hay demasiado tránsito, las cajas automáticas son ideales.

Comprar un auto con caja automática siempre es más caro que ese mismo modelo con caja manual. También a la hora de cambiar una caja completa, es más costosa que la tradicional.

Manual

En cuanto al consumo de combustible, con este tipo de caja el usuario puede regularlo. Es decir, puede elegir a qué rpm llevar el auto para tener un consumo óptimo.

La manual suele romperse, mientras que la automática no. Los fuelles o los RTN suelen dañarse, y muchas veces se gastan los sincronizados y crujen. Por eso requieren mantención, mientras que las automáticas no.

Si bien el argentino disfruta de los cambios manuales, este tipo de caja no es cómoda ni recomendada para calle con alto tráfico.

Es más barata. No solo cuando se compra un auto, sino también en su reparación y reemplazo.

Fuente: Alejandro Ortega – Los Andes On Line

↑ **Figura 3.93.** Palanca de cambios manual.

↑ **Figura 3.94.** Palanca de cambios automática.

EN **RESUMEN**

Mecanismo de la cadena cinemática del vehículo que transmite el par motor, lo reduce o lo aumenta según la velocidad seleccionada por el conductor

LA CAJA DE CAMBIOS

- Manuales → El conductor selecciona manualmente la velocidad deseada
- Automáticas → El cambio de velocidad se realiza automáticamente

MANUALES

- Relación de transmisión → $Rt = \frac{\text{N.º de dientes de la rueda conducida}}{\text{N.º de dientes de la rueda conductora}}$
- Gráfica de velocidades → Permite observar el diseño de las relaciones del cambio
- Cajas de cambios →
  - Para tracción delantera
  - Para propulsión trasera y 4x4
  - Cajas con dos grupos

ELEMENTOS CONSTITUYENTES

- Engranajes →
  - Dentado recto
  - Dentado helicoidal
- Rodamientos →
  - De bolas
  - De rodillos cilíndricos
  - De agujas
  - De rodillos cónicos
- Retenes y anillos tóricos → Evitan pérdidas de aceite
- Sincronizadores → Permiten el acoplamiento suave de las velocidades
- Mecanismos de posicionamiento y enclavamiento de las velocidades → Varillas y horquillas; Muelles fiadores y bolas

MANTENIMIENTO → Controlar el nivel de aceite y cambiarlo cuando sea necesario. Sustituir los elementos dañados

REPARACIÓN → Verificar elementos y montar teniendo en cuenta pares de apriete y reglajes indicados por el fabricante

entra en internet

1. Puedes encontrar más información en las siguientes páginas:
   - <www.automecanico.com>
   - <http://webdelautomovil.com/2007/09/la-caja-de-cambios-manual-22>
   - <www.autocity.com>

4 Cajas automáticas y variadores

vamos a conocer...

1. Caja de cambios automáticas
2. Elementos constituyentes
3. Cambios automáticos sin centralita electrónica
4. Esquemas de transmisión de fuerza en las cajas automáticas
5. Funcionamiento del cambio automático ZF 5 HP 30
6. Cambios semiautomáticos
7. Variadores o cambios automáticos CVT
8. Cambio automatizado
9. Lubricación de las cajas de cambios
10. Mantenimiento del cambio automático
11. Verificación de las cajas de cambios automáticas

PRÁCTICA **PROFESIONAL**

Ajustar el captador multifunción F 125 con la palanca selectora

Leer la memoria de averías de un cambio automático empleando un equipo de diagnosis universal

MUNDO **TÉCNICO**

Sistema de transmisión automática de 8 velocidades de ZF

y al finalizar esta unidad...

- Aprenderás los principios de funcionamiento de los elementos más importantes de un cambio automático.
- Conocerás cómo se obtienen las relaciones de transmisión con un tren epicicloidal.
- Entenderás el funcionamiento de las cajas de cambios automáticas, semiautomáticas, automatizadas y de los variadores.
- Conocerás las cajas de cambios automatizadas, con doble embrague tipo DSG.

CASO **PRÁCTICO** INICIAL

situación de partida

Luis Pérez es un comercial de un importante grupo empresarial, su trabajo lo realiza por varias comunidades autónomas y los desplazamientos los realiza con un vehículo propio. La empresa le paga las dietas del kilometraje que realiza, este acuerdo con la empresa le permite a Luis poder cambiar de modelo cada tres o cuatro años.

El cambio de coche es para Luis una decisión importante, le gusta entrar en las web de los fabricantes y configurar el modelo: motorización, cambio, tipo de transmisión, accesorios, etc. La web le permite comparar el equipamiento y los precios de distintos fabricantes, de esta forma puede visitar con toda la información los concesionarios para ajustar la venta.

Luis no tiene decidido si el coche tendrá cambio manual o cambio automático, en los cambios manuales no tiene ninguna duda, conoce el manejo y los fabricantes indican las velocidades de que dispone.

Con los cambios automáticos no lo tiene tan claro, en concreto en la página web de Audi, ha intentado configurar un modelo de A4 con cambio automático y le aparecen tres tipos distintos de cambios automáticos: S-tronic, Multitronic y Tiptonic.

Para salir de dudas, Luis decide visitar LEVANTE WAGEN, concesionario de su zona, y preguntar al jefe de ventas sobre los distintos tipos de cambios automáticos.

El responsable de ventas le informa que los tres cambios del modelo A4 se conducen de forma muy parecida: el vehículo no tiene pedal de embrague y el cambio se realiza automáticamente, los mandos pueden ser por palanca selectora y con pulsadores en el volante.

En cambio constructivamente los tres cambios son totalmente distintos:

- **El cambio S-tronic** es un cambio desarrollado partiendo de un cambio manual que se ha automatizado mediante el desplazamiento de las horquillas y el accionamiento del embrague. Dispone de dos embragues multidisco bañados en aceite, la transmisión del par se realiza de forma constante, es similar al cambio DSG.
- **El cambio Multitronic** es un cambio que emplea un variador con cadena tipo CVT para realizar la relaciones de transmisión, no emplea ruedas dentadas ni trenes epicicloidales para realizar las distintas velocidades y el embrague se realiza con dos paquetes de discos bañados en aceite.
- **El cambio Tiptonic** es un cambio automático con trenes epicicloidales y convertidor de par con embrague anulador del convertidor.

estudio del caso

Antes de empezar a leer esta unidad de trabajo, puedes contestar las dos primeras preguntas. Después, analiza cada punto del tema, con el objetivo de contestar al resto de las preguntas de este caso práctico.

1. ¿Qué ventajas puede tener comprar un coche con la caja de cambios automática?
2. ¿Se puede montar un convertidor de par en la caja de cambios tipo S-tronic?
3. ¿Qué coche crees que es más fácil conducir, uno con cambio manual o con cambio automático?
4. ¿Qué tipo de caja de cambios es más costosa de reparar, las manuales o las automáticas?

1. Caja de cambios automáticas

recuerda

En la unidad 2 se ha explicado el funcionamiento del convertidor de par y el convertidor de par con embrague anulador que disponen las cajas automáticas de última generación.

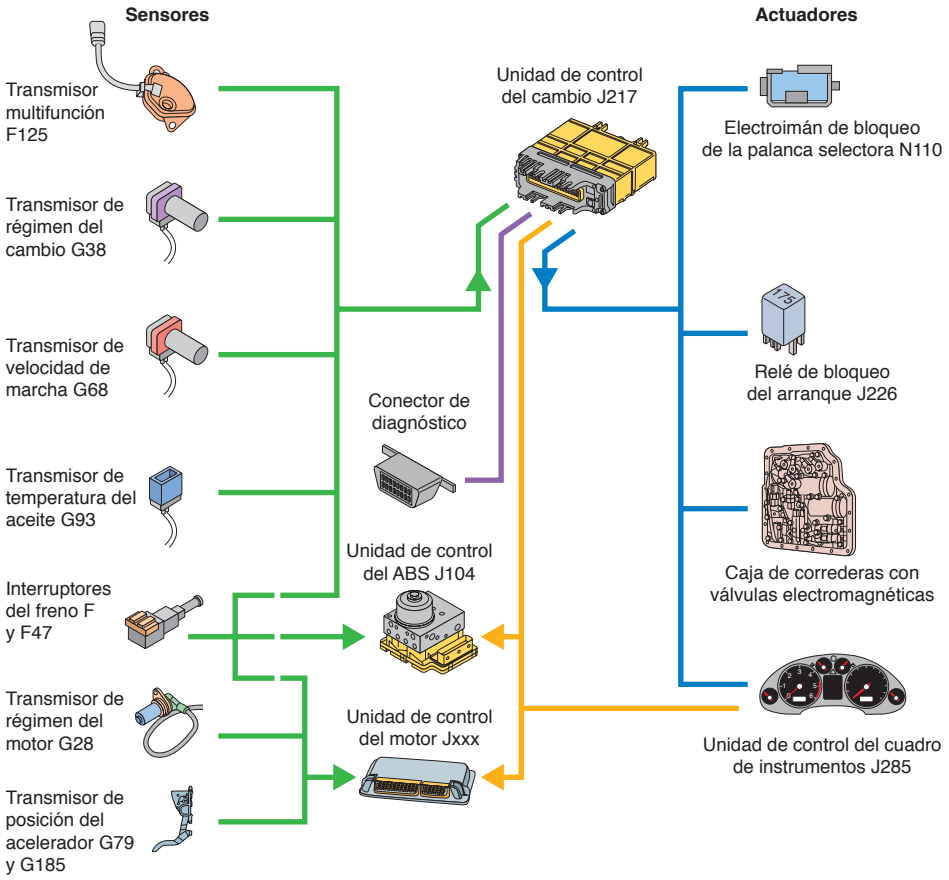
La caja de cambios automática ocupa la misma posición en la cadena cinemática que la caja de cambios manuales. La caja de cambios automática realiza las funciones básicas encomendadas al cambio manual con funciones añadidas y mejoradas, gracias a la incorporación de la gestión electrónica.

Las funciones que realizan las cajas de cambios automáticas son las siguientes:

- Conseguir las distintas relaciones de transmisión.
- Realizar la marcha atrás.
- Cambiar de velocidad automáticamente.
- Permite cambiar las velocidades sin interrumpir la entrada de fuerza.
- Realizar la función «P parking». Si la palanca no se encuentra es la posición «P» bloqueado no se puede sacar la llave de contacto.

Las cajas de cambios automáticas, necesitan un **convertidor de par** como embrague entre el motor y la caja. El convertidor de par y el cambio forman un conjunto que emplean el mismo circuito hidráulico y la gestión electrónica. Los vehículos que equipan cajas de cambios automáticas no disponen de pedal de accionamiento del embrague. El cambio de velocidades se realiza con carga, sin necesidad de interrumpir la transmisión de fuerza del motor.

El circuito electrónico e hidráulico de la caja de cambios automática dispone de los componentes que aparecen en el esquema de la figura 4.1.



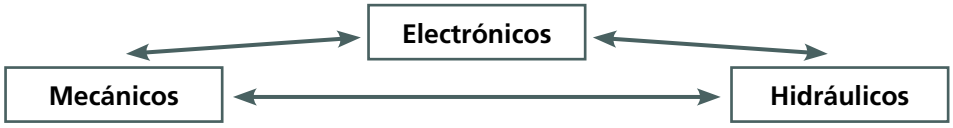
↑ **Figura 4.1.** Sensores y actuadores de un cambio automático.

saber más

Comunicación con la red CAN BUS

Los módulos de gestión de la figura 4.1, gestión del cambio, ABS, Motor y cuadro de instrumentos se comunican la información a través de los dos cables de la red CAN BUS.

El cambio automático combina los siguientes circuitos:



El resultado final es un conjunto complejo que dispone de circuitos hidráulicos, electrónicos y mecánicos interrelacionados entre sí.

El circuito electrónico de un cambio automático básico dispone de los siguientes captadores: sensor de temperatura del aceite del cambio G93, captador rpm de entrada al cambio G38, captador de la velocidad de marcha G68, captadores posición del acelerador y *kick-down* G79 y G185, interruptor de freno F y F47, captador del régimen del motor G28 y posición de la palanca selectora F125.

El cerebro de todo el circuito es el módulo electrónico de gestión J 217, el módulo recibe las señales eléctricas de todos los captadores de su circuito y de los otros captadores asociados a otros módulos del vehículo por la red CAN BUS.

Las señales son procesadas para activar con señales eléctricas los actuadores del circuito: electroimán de la palanca selectora N110, relé del bloqueo del arranque J226, caja de correderas con válvulas electromagnéticas y unidad del cuadro de instrumentos J285.

El circuito hidráulico del cambio automático dispone de todos los componentes de un circuito hidráulico normal: depósito, aceite ATF, bomba de presión, electroválvulas, válvulas limitadoras de presión, cilindros actuadores, etc. El circuito hidráulico realiza las siguientes funciones:

- Lubrica todas las partes móviles de la caja y manda el caudal de aceite que necesita el convertidor de par.
- Transmite el par de transmisión en el convertidor.
- Actúa sobre los émbolos de los embragues y los frenos de los trenes epicicloidales para conseguir las distintas relaciones de transmisión.

El conjunto mecánico es el encargado de transmitir y transformar el par del motor. Emplea trenes epicicloidales, rodamientos, frenos y embragues de discos y cinta bañados en aceite, ruedas libres, mecanismos de parking, etc.

caso **práctico** inicial

Los tres tipos de cambios automáticos que Luis se ha informado el S-tronic, Multitronic y Tiptonic emplean la combinación de circuitos electrónicos, mecánicos e hidráulicos.

2. Elementos constituyentes

El principal elemento del cambio automático es el tren epicicloidal. El resto de elementos que disponen las cajas pueden considerarse colaboradores del tren, ayudan a que el tren epicicloidal realice las distintas relaciones de transmisión.

Las cajas automáticas están formadas por los siguientes componentes:

- Trenes epicicloidales.
- Frenos y embragues.
- Rodamientos y ruedas libres.
- Dispositivo de aparcamiento.
- Bomba de aceite.
- Caja de válvulas.
- Sensores.
- Centralita electrónica.
- Actuadores (electroválvulas, electroimán bloqueo de llave, electroimán de bloqueo de palanca selectora).

2.1. Trenes epicicloidales

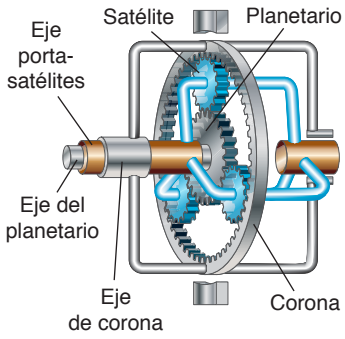
Un tren epicicloidal es un conjunto formado por un juego de engranajes epicicloidales, piñón planetario, satélites y corona de dentado interior. Los trenes epicicloidales se emplean para obtener las relaciones de transmisión de cada velocidad, sustituyen a las parejas de ruedas dentadas de las cajas manuales.

La transmisión que se realiza con un tren epicicloidal es más versátil y dispone de más relaciones de transmisión que en las transmisiones realizadas con pares de ruedas dentadas.

Los trenes epicicloidales ofrecen las siguientes ventajas:

- Permiten realizar varias relaciones de transmisión, según se frene o se accione un componente del tren.
- Los trenes epicicloidales son capaces de invertir el sentido de giro de transmisión; por ejemplo, para realizar la marcha atrás (no se necesita el tercer piñón).
- Los trenes epicicloidales realizan el cambio de velocidad con carga, y no es necesario cortar la salida de fuerza del motor para realizar el cambio de marcha.

Constitución de los trenes epicicloidales

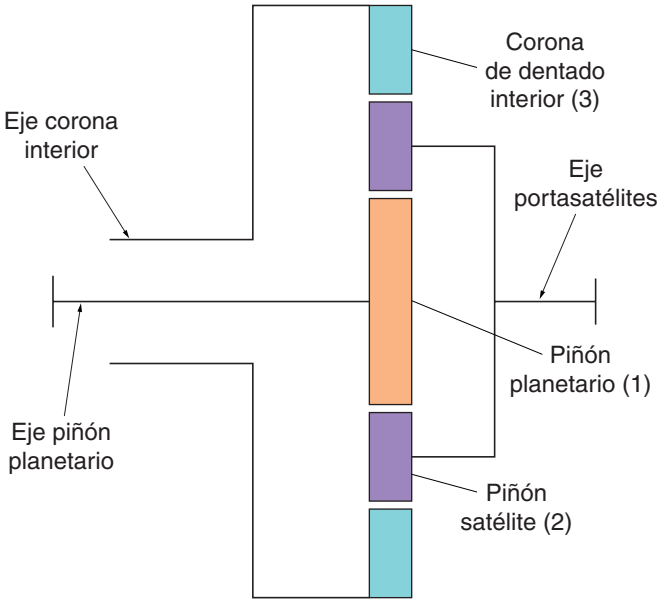


↑ **Figura. 4.2.** Componentes de un tren epicicloidal.

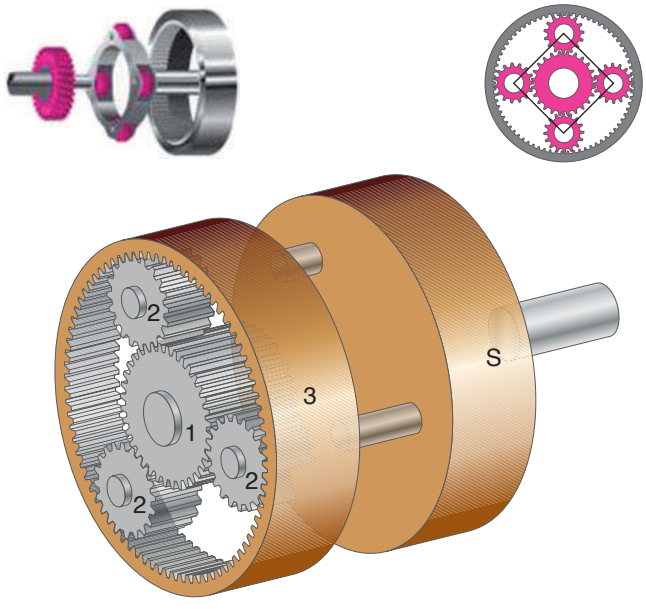
Los trenes epicicloidales están constituidos por un eje de accionamiento y un piñón central llamado planetario o solar. Girando y engranados sobre el piñón se sitúan los satélites, los satélites giran sobre su eje y a su vez una placa une todos los ejes de los satélites y transmiten el giro por el eje portasatélites. Los piñones satélites engranan sobre una corona de dentado interior (figura 4.2) formando un conjunto de engranajes con tres elementos:

- Piñón planetario con su eje de accionamiento.
- Piñones satélites y eje de la placa portasatélites.
- Corona con dentado interior y eje de accionamiento.

En resumen, un tren epicicloidal sencillo está formado por un piñón planetario, tres o cuatro satélites y una corona de dentado interior y los ejes de entrada y salida de transmisión de movimiento de cada componente (figuras 4.3 y 4.4).



↑ **Figura 4.3.** Representación del tren epicicloidal.



↑ **Figura 4.4.** Componentes del tren epiciclodal.

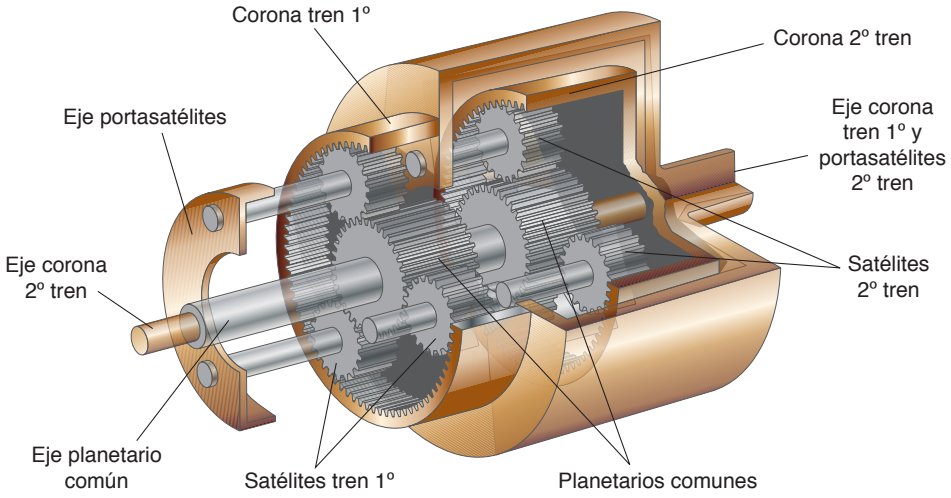
Acoplamiento de trenes Simpson, Ravigneaux y Wilson

Con un solo tren epicicloidal en la caja de cambios, y que tenga un eje de entrada y otro de salida del par, se pueden obtener una relación de desmultiplicación y una marcha directa. Cuando se necesitan más relaciones de transmisión, es necesario disponer de varios trenes epicicloidales entrelazados entre sí. Los sistemas de unión que más se emplean son: el acoplamiento tipo Simpson, Ravigneaux y el Wilson.

La unión de trenes tipo Simpson consiste en disponer dos trenes epicicloidales iguales, unidos por un piñón planetario común para los dos trenes; el resto de elementos se acoplan entre sí. La corona del tren 1° se encuentra unida con el eje portasatélites del 2° tren y el eje de salida de fuerza. La entrada de fuerza se puede realizar por el eje portasatélites del tren 1°, eje de corona del 2° tren y por el eje de los planetarios común (figura 4.5) dependiendo de la velocidad.

caso **práctico** inicial

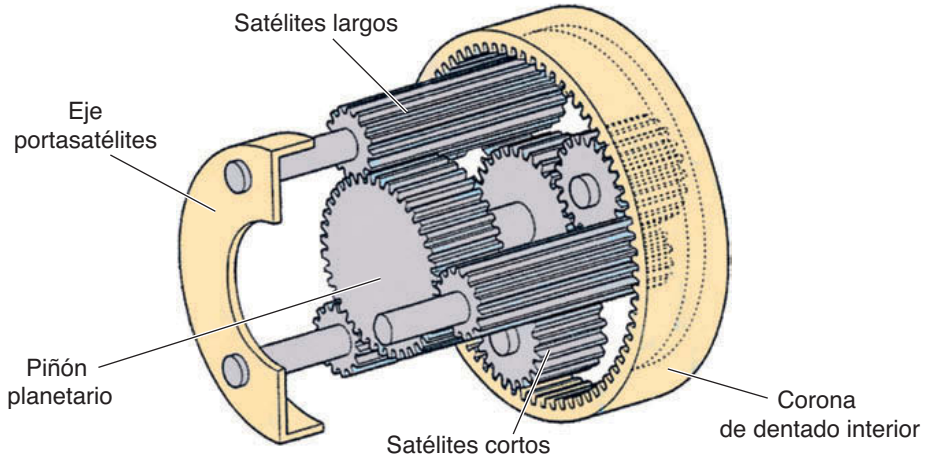
El cambio automático denominado Tiptronic por Audi, dispone de un convertidor de par y trenes epicicloidales.



↑ **Figura 4.5.** Acoplamiento Simpson.

Acoplamiento Ravigneaux

El acoplamiento Ravigneaux acopla dos o tres trenes en un solo conjunto; para ello, dispone de una sola corona de dentado interior. Los satélites que se acoplan en el mismo eje, tienen diferentes dentados para engranar en los distintos piñones planetarios (figura 4.6).



↑ **Figura 4.6.** Acoplamiento Ravigneaux.

saber más

Sistema Lepelletier

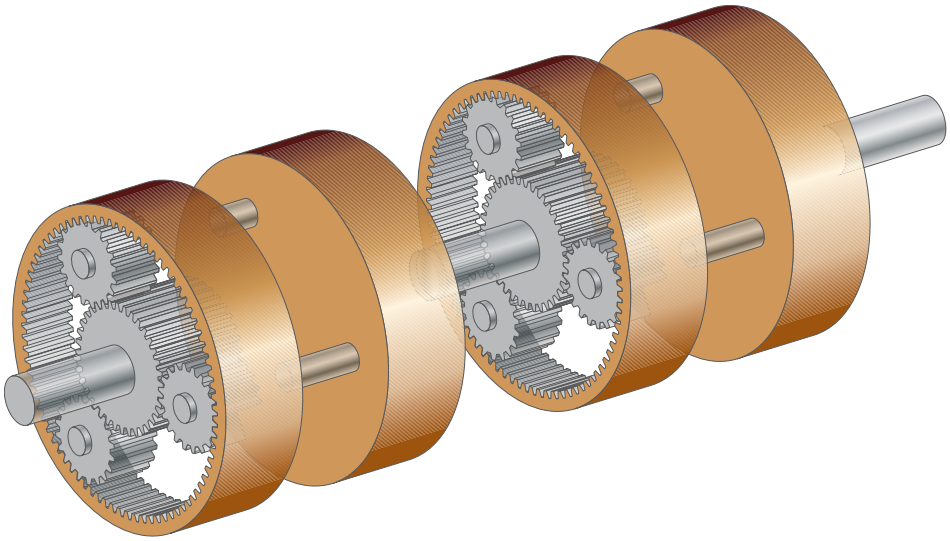
El cambio 09G del consorcio Audi-VW emplea un acoplamiento de un tren simple con un Ravigneaux conocido como sistema Lepelletier y se consiguen seis marchas adelante y marcha atrás.

saber más

El acoplamiento tipo Wilson con tres trenes acoplados se emplea en la caja ZF 5HP30 montadas en modelos de BMW con propulsión trasera.

Acoplamiento Wilson

El acoplamiento tipo Wilson emplea varios trenes epicicloidales colocados en serie y acoplados entre sí. La entrada de fuerza se realiza por el eje del planetario del primer tren, el eje portasatélites del primer tren se acopla al eje del planetario del segundo tren, la salida del par se realiza por el eje portasatélites del último tren (figura 4.7).



↑ **Figura 4.7.** Acoplamiento Wilson.

Relaciones de transmisión de un tren epicicloidal sencillo

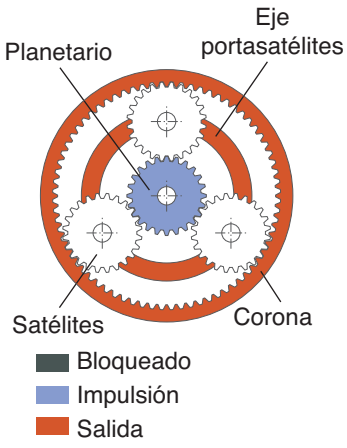
Las relaciones de transmisión que se obtienen de un tren epicicloidal dependen del elemento del tren que se encuentra detenido o frenado, así como del elemento por el que entra el giro al tren y del componente del tren por el que se realiza la salida de fuerza (tabla 4.1).

Variante	Entrada	Salida	Detenido (frenado)
0	Gira como una unidad – 2 elementos conectados entre sí		
1	Corona	Portasatélites	Piñón planetario
2	Portasatélites	Corona	Piñón planetario
3	Piñón planetario	Corona	Portasatélites
4	Corona	Piñón planetario	Portasatélites
5	Piñón planetario	Portasatélites	Corona
6	Portasatélites	Piñón planetario	Corona

↑ **Tabla 4.1.** Variantes de un tren epicicloidal según la entrada, salida y elemento frenado.

Punto muerto

Si en el tren epicicloidal no se frena ningún elemento, el conjunto gira libremente sin conseguir ninguna relación de transmisión; en esta posición se podría decir que el cambio está en punto muerto (figura 4.8). Si la entrada del giro se realiza a través del eje del planetario, sin frenar ningún elemento, el eje portasatélites y la corona de dentado interior giran libremente. Si el eje portasatélites y la corona se someten a carga, el tren transmitirá a los dos elementos con carga, eje portasatélites y corona, esta función se emplea en los algunos modelos 4x4 y el tren epicicloidal funciona como un diferencial repartidor 4 Matic.

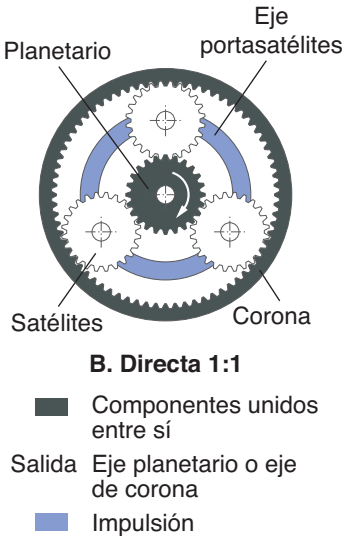


↑ **Figura 4.8.** Punto muerto o repartidor.

Directa, relación 1:1 (variante 0)

La unión de dos componentes del tren entre sí (figura 4.9), consigue que el tren epicicloidal se bloquee y se comporte como una sola pieza, girando a la velocidad de entrada del conjunto. No se realiza multiplicación ni desmultiplicación, siendo la relación de transmisión 1:1. Por ejemplo, planetario y corona dentada interior, si se unen entre sí, el giro entra por el eje portasatélites y la salida se realiza por el eje del planetario o el eje de la corona.

Igual ocurriría si otra pareja de elementos se unieran entre sí, eje portasatélites y corona o eje portasatélites y planetario.



↑ **Figura 4.9.** Tren con dos elementos unidos Rt 1:1.

Cálculo de las relaciones de transmisión de un tren epicicloidal

Para calcular las velocidades de salida y las relaciones de transmisión se deben tener en cuenta el número de dientes del piñón planetario y el número de dientes del dentado interior de la corona. Empleando la fórmula de Willys, se relacionan las velocidades y el número de dientes de los elementos con lo que resulta:

$$n_2 = \frac{1}{Z_3 + Z_1} \cdot (Z_3 \cdot n_3 + Z_1 \cdot n_1)$$

Donde:

n_1 = número de rpm del piñón planetario

n_2 = número de rpm del eje portasatélites

n_3 = número del rpm de la corona

Z_1 = número de dientes del piñón planetario

Z_3 = número de dientes del dentado interior de la corona

Relación de transmisión con el piñón planetario frenado e impulsado por la corona de dentado interior. Salida por el eje del portasatélites con desmultiplicación (variante 1)

En esta situación (figura 4.10), el piñón planetario está sin movimiento, $n_1 = 0$ al estar frenado. El giro de la corona se transmite a los piñones satélites que giran rodando por el piñón planetario y transmitiendo el giro al eje portasatélites que se desplazará en el mismo sentido que la corona. La relación de transmisión que se produce será:

$$Rt = \frac{n_3}{n_2}$$

Donde:

n_2 = número de rpm del eje portasatélites

n_3 = número del rpm de la corona

Despejando de la fórmula de Willys:

$$n_2 = \frac{1}{Z_3 + Z_1} \cdot (Z_3 \cdot n_3 + Z_1 \cdot n_1)$$

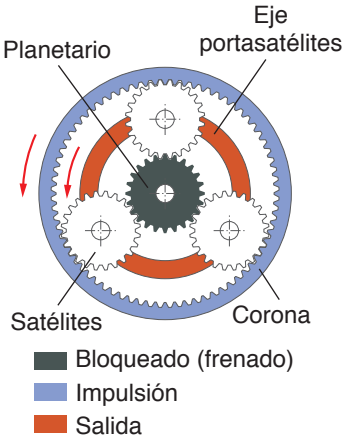
Como $n_1 = 0$ al estar frenada, $Z_1 \cdot n_1 = 0$, de donde:

$$n_2 = \frac{1}{Z_3 + Z_1} \cdot (Z_3 \cdot n_3) = \frac{Z_3 \cdot n_3}{Z_3 + Z_1}$$

saber más

Cálculos de las relaciones de transmisión

El número de dientes de los piñones satélites no se tiene en cuenta para calcular las relaciones de transmisión de los trenes epicicloidales.



↑ **Figura 4.10.** Relación de transmisión con el piñón planetario frenado e impulsado por la corona de dentado interior.

Como $Rt = \frac{n_3}{n_2}$, despejamos para encontrar la igualdad:

1º) $n_2 \cdot (Z_3 + Z_1) = Z_3 \cdot n_3$

2º) $\frac{Z_3 + Z_1}{Z_3} = \frac{n_3}{n_2}$

3º) Si $Rt = \frac{n_3}{n_2}$; $Rt = \frac{Z_3 + Z_1}{Z_3}$; $Rt = 1 + \frac{Z_1}{Z_3}$

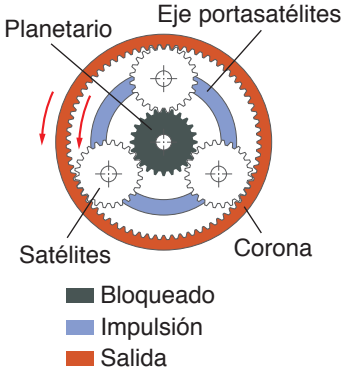
Para calcular n_2, despejamos de la fórmula:

$$n_2 = \frac{n_3}{Rt}$$

Si conocemos el número de dientes del piñón planetario Z_1 y el número de dientes del dentado interior de la corona Z_3 y las rpm de entrada en la corona n_3, se puede calcular la relación de transmisión en esta variante (1).

Relación de transmisión con el planetario frenado ($n_1 = 0$) e impulsado por el eje portasatélites. La salida de fuerza se realiza por el eje de la corona de dentado interior, con multiplicación (variante 2)

$$Rt_1 = \frac{n_2}{n_3}$$



↑ **Figura 4.11.** Tren epicicloidal con el piñón planetario frenado.

Despejando de la fórmula de Willys, igual que en el caso anterior, obtenemos la siguiente relación de transmisión:

$$Rt_1 = \frac{n_2}{n_3} = \frac{Z_3}{Z_3 + Z_1}$$

Para calcular n_3, despejamos de la fórmula:

$$n_3 = \frac{n_2}{Rt_1}$$

Inversión del giro (marcha atrás), eje portasatélites bloqueado e impulsando por el piñón planetario n_1. La salida se obtiene por la corona de dentado interior n_3 en sentido contrario al de entrada (variante 3)

La relación de transmisión es la resultante de dividir las revoluciones de entrada en el planetario entre las revoluciones de salida en la corona.

$$Rt_2 = \frac{n_1}{n_3}$$

Despejando de la fórmula de Willys y conociendo que el eje portasatélites está frenado, $n_2 = 0$, obtenemos:

$$n_2 = \frac{1}{Z_3 + Z_1} \cdot (Z_3 \cdot n_3 + Z_1 \cdot n_1)$$

$$0 = \frac{1}{Z_3 + Z_1} \cdot (Z_3 \cdot n_3 + Z_1 \cdot n_1)$$

Esto implica que:

$$(Z_3 \cdot n_3 + Z_1 \cdot n_1) = 0$$

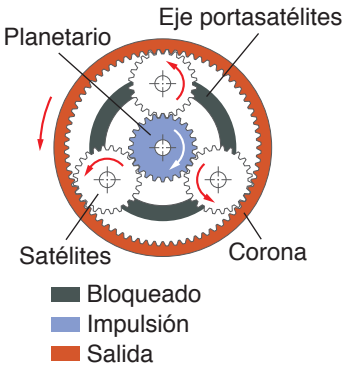
Y que,

$$(Z_3 \cdot n_3) = -(Z_1 \cdot n_1); \frac{Z_3}{Z_1} = -\frac{n_1}{n_3}$$

Por lo tanto:

$$Rt_2 = -\frac{n_1}{n_3}, \text{ y, } n_3 = -\frac{n_1}{Rt_2}$$

Teniendo en cuenta que el signo negativo (–) significa que la relación de transmisión se realiza en sentido contrario al de la entrada del giro, las cajas de cambios automáticas los emplean para realizar la marcha atrás.



↑ **Figura 4.12.** Inversión del giro con el eje portasatélites bloqueado.

EJEMPLOS

■ Calcula la relación de transmisión en un tren epicicloidal que tiene: 105 dientes la corona de dentado interior Z_3 y 95 dientes el piñón planetario Z_1, estando frenado el piñón planetario n_1 y en el que el tren se impulsa por el eje de la corona de dentado interior n_3.

Conociendo que la corona gira a 5.000 rpm, calcular las revoluciones por minuto del eje portasatélites n_2.

$Z_1 = 95$ dientes $\quad Z_3 = 105$ dientes $\quad n_3 = 5.000$ rpm

Solución:

$$Rt = 1 + \frac{Z_1}{Z_3} = 1 + \frac{95}{105} = 1{,}90/1$$

La relación de transmisión con el piñón planetario frenado e impulsando la corona de dentado interior, da como resultado 1,90:1.

$$n_2 = \frac{n_3}{Rt} = \frac{5.000 \text{ rpm}}{1{,}90} = 2.631{,}5 \text{ rpm}$$

■ Con el mismo tren de engranajes de la actividad anterior, 105 dientes la corona de dentado interior Z_3 y 95 dientes el piñón planetario Z_1, calcula las relaciones de transmisión impulsando el eje portasatélites (eje del planetario frenado y salida por el eje de la corona).

Conociendo que el eje portasatélites gira a 5.000 rpm, calcula las revoluciones por minuto de salida de la corona de dentado interior.

Solución:

$Z_1 = 95$ dientes

$Z_3 = 105$ dientes

$n_2 = 5.000$ rpm

Se calcula la *Rt* del tren epicicloidal, empleando la formula siguiente:

$$Rt_1 = \frac{Z_3}{Z_3 + Z_1} = \frac{105}{105 + 95} = 0{,}52/1$$

Y las revoluciones de salida de la corona de dentado interior serán:

$$n_3 = \frac{n_2}{Rt_1} = \frac{5.000 \text{ rpm}}{0{,}52} = 9.615{,}3 \text{ rpm}$$

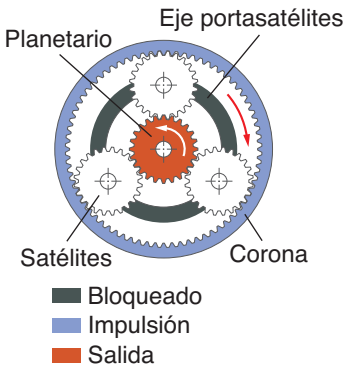
saber más

Equivalencias

n_1 = rpm del planetario.

n_2 = rpm del eje portasatélites.

n_3 = rpm de la corona.



↑ **Figura 4.13.** Inversión del giro con el eje portasatélites bloqueado.

Inversión del giro (marcha atrás) con el eje portasatélites bloqueado e impulsando por la corona. Salida por el piñón planetario en sentido contrario al de entrada (variante 4)

La relación de transmisión que se obtiene es el cociente de dividir el régimen de revoluciones de entrada en el eje de la corona entre las revoluciones del eje del planetario.

$$Rt_3 = \frac{n_3}{n_1}$$

$$\frac{n_3}{n_1} = -\frac{Z_1}{Z_3}$$

$$Rt_3 = -\frac{Z_1}{Z_3}; \text{ con lo cual: } n_1 = -\frac{n_3}{Rt_3}$$

EJEMPLOS

■ Siguiendo con el mismo modelo de tren utilizado en las actividades anteriores, calcula la relación de transmisión con el eje portasatélites frenado y transmitiendo fuerza por el piñón planetario.

Calcula las revoluciones de salida en el eje de la corona de dentado interior con un régimen de 5.000 rpm en el eje del piñón planetario:

Solución:

$Z_1 = 95$ dientes

$Z_3 = 105$ dientes

$n_1 = 5.000$ rpm

$$Rt_2 = -\frac{Z_3}{Z_1} = -\frac{105}{95} = -1{,}10/1$$

Y las revoluciones de salida de la corona de dentado interior serán:

$$n_3 = -\frac{n_1}{Rt_2} = -\frac{5.000 \text{ rpm}}{1{,}10} = -4.545 \text{ rpm}$$

■ Calcula la relación de transmisión del tren epicicloidal de los ejemplos anteriores cuando el eje portasatélites está frenado y transmitiendo fuerza por la corona dentada y la salida de la fuerza se realiza por el eje del piñón planetario.

Calcula las revoluciones de salida en el eje del piñón planetario conociendo las revoluciones de entrada del tren por el eje de la corona de dentado interior, $n_3 = 5.000$ rpm

Solución:

$Z_1 = 95$ dientes $\quad Z_3 = 105$ dientes $\quad n_1 = 5.000$ rpm

$$Rt_3 = -\frac{Z_1}{Z_3} = -\frac{95}{105} = -0{,}90/1$$

Y las revoluciones de salida serán:

$$n_1 = \frac{n_3}{Rt_3} = \frac{5.000 \text{ rpm}}{-0{,}90} = -5.555{,}5 \text{ rpm}$$

Corona frenada e impulsión por el eje del piñón planetario. La salida de giro se produce por el eje portasatélites y en el mismo sentido (variante 5)

$$Rt_4 = \frac{n_1}{n_2}$$

Despejando de la fórmula de Willis, se obtiene:

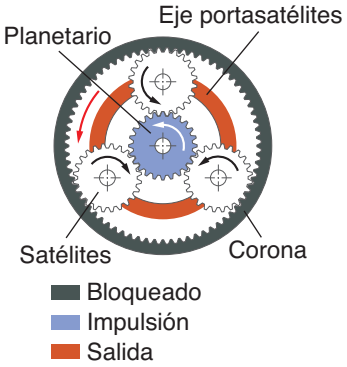
$$n_2 = \frac{1}{Z_3 + Z_1} \cdot (Z_3 \cdot n_3 + Z_1 \cdot n_1)$$

Al estar frenada la corona: $n_3 = 0$

$$n_2 = \frac{Z_1 \cdot n_1}{Z_3 + Z_1};\ n_2 \cdot (Z_3 + Z_1) = Z_1 \cdot n_1;\ \frac{Z_3}{Z_1} + \frac{Z_1}{Z_1} = \frac{n_1}{n_2} = Rt_4$$

Y despejando de las ecuaciones:

$$Rt_4 = \frac{Z_3}{Z_1} + 1,\ \text{y},\ n_2 = \frac{n_1}{Rt_4}$$



↑ **Figura 4.14.** Corona frenada e impulsión por el piñón planetario, salida por el eje portasatélites.

EJEMPLO

Teniendo en cuenta los datos de las anteriores actividades y conociendo que el número de dientes de la corona de dentado interior es: $Z_3 = 105$ dientes, el dentado del planetario es igual a $Z_1 = 95$ dientes, y el eje impulsor gira a 5.000 rpm:

1°. Calcular la *Rt* frenando la corona e impulsando por el eje del piñón planetario y las rpm de salida en el eje portasatélites (figura 4.14).

2°. En el mismo tren y con la corona frenada impulsando el eje portasatélites, calcular la nueva *Rt* y las rpm que se consiguen.

Solución:

1°. Corona frenada e impulsión por el eje del piñón planetario.

$$Rt_4 = \frac{Z_3}{Z_1} + 1 = \frac{105}{95} + 1 = 2{,}10/1$$

Las rpm de salida por el eje portasatélites son:

$$n_2 = \frac{n_1}{Rt_4} = \frac{5.000\ \text{rpm}}{2{,}10} = 2.380{,}9\ \text{rpm}$$

2°. Corona frenada e impulsión por el eje portasatélites.

$$Rt_4 = \frac{Z_1}{Z_3 + Z_1} = \frac{95}{105 + 95} = \frac{95}{200} = 0{,}47/1$$

Las rpm de salida del eje del piñón planetario son:

$$n_1 = \frac{n_2}{Rt_4} = \frac{5.000\ \text{rpm}}{0{,}47} = 10.638\ \text{rpm}$$

ACTIVIDADES

1. ¿Qué otras parejas de elementos del tren se pueden unir entre sí y qué elemento actuará como impulsor? Realiza un croquis de cada situación.

Corona frenada e impulsión por el eje portasatélites n_2. La salida de fuerza se realiza por el eje del planetario n_1 (variante 6)

$$Rt_5 = \frac{n_2}{n_1} = \frac{Z_1}{Z_3 + Z_1}$$

$$n_1 = \frac{n_2}{Rt_5}$$

En resumen, con un tren epicicloidal se pueden obtener seis relaciones de transmisión distintas según el componente que se frene o se impulse y una séptima *Rt* uniendo dos elementos del tren, en este caso el tren epicicloidal se bloquea para conseguir una *Rt* directa 1:1 (figura 4.8).

En muchas cajas los trenes epiciliodales se encuentran acoplados entre sí (acoplamiento Wilson) y algunos de los componentes del cambios no se frenan, el componente puede girar a una velocidad constante y obtener una nueva relación de transmisión.

En esta situación se producirá un efecto similar al que se provoca al andar sobre una escalera mecánica.

saber más

Los piñones satélites

El número de dientes de los piñones satélites no se tiene en cuenta para calcular las relaciones de transmisión.

El número de dientes de estos piñones no interviene en ninguna fórmula.

saber más

Jeep Grand Cherokee

El modelo de Jeep Grand Cherokee, en el cambio automático, emplea dos frenos de cinta para frenar las coronas de dentado interior.

2.2. Frenos y embragues

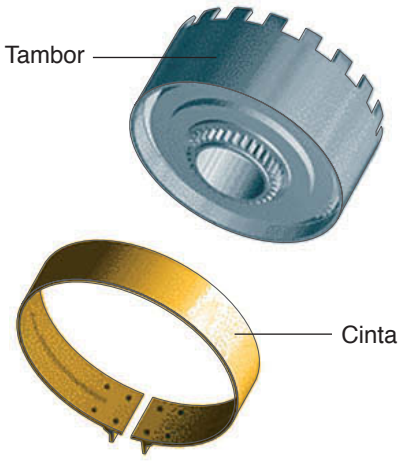
Los frenos y embragues son los dispositivos empleados para frenar, unir o liberar un elemento del tren epicicloidal (corona, eje portasatélites o eje planetario). Se denominan también elementos de mando. Los frenos más empleados son de cinta y de discos, los embragues son todos de discos.

Frenos de cinta

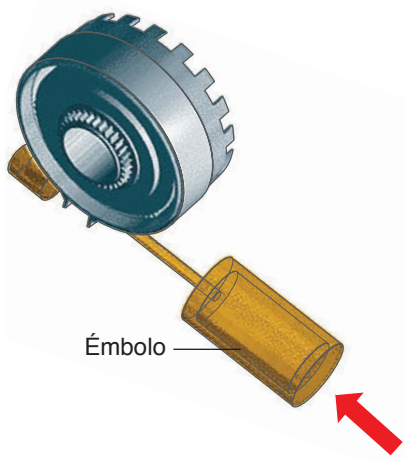
Permiten abrazar diámetros de gran tamaño, por ejemplo, para frenar exteriormente una corona de dentado interior. El conjunto dispone de un tambor de freno que es rodeado por una cinta de acero con un forro de fricción adherido en el interior (figura 4.15).

Sin accionamiento el tambor gira libremente cuando el émbolo hidráulico recibe presión, tensa la cinta y frena el tambor (figura 4.16).

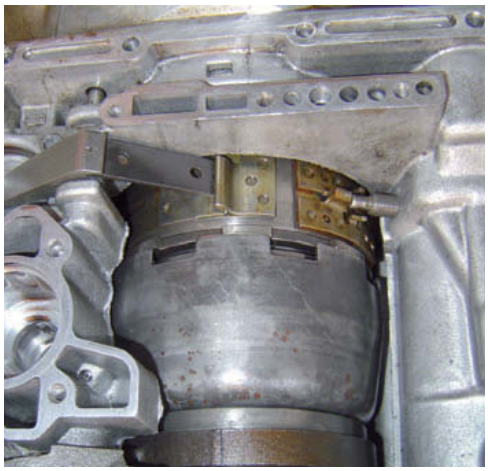
El principal inconveniente del freno de cinta, es que el émbolo hidráulico provoca esfuerzos radiales sobre la carcasa del cambio. La ventaja es que se puede regular el desgaste del forro de fricción desde el exterior de la caja de cambios, con un tornillo de reglaje (figura 4.17).



↑ **Figura 4.15.** Componentes del freno.



↑ **Figura 4.16.** Freno de cinta accionado.



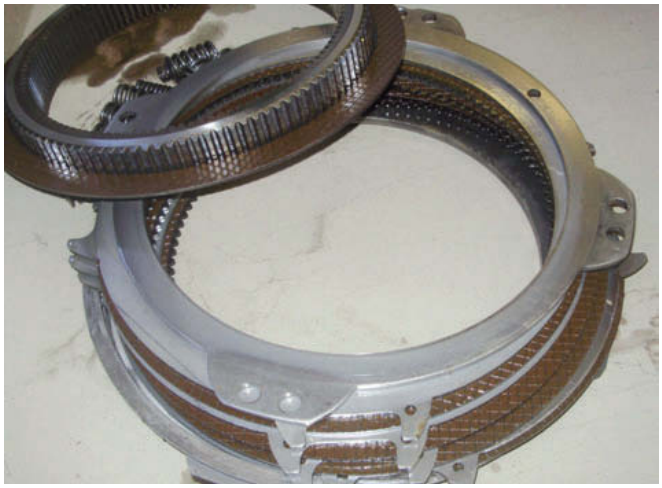
↑ **Figura 4.17.** Tambor, cinta y tornillo de reglaje.

Freno de discos

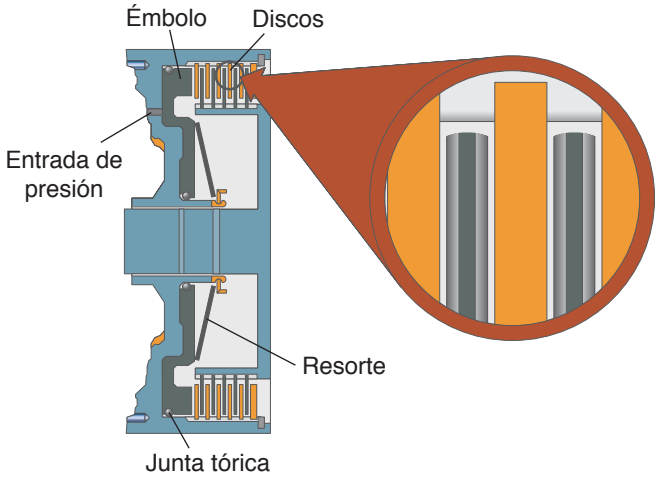
El freno de discos está compuesto por dos tipos diferentes de discos. Unos, exteriores, que apoyan en la carcasa del cambio, y otros, interiores unidos al componente del cambio a frenar.

Los discos interiores están formados por un forro de fricción pegado compuesto por celulosa, material plástico «arami» altamente resistente y resinas fenólicas, mientras que los discos exteriores son de acero sin forro de fricción (figura 4.18).

El aceite de la caja se emplea para el circuito hidráulico de accionamiento del émbolo (figura 4.19) y para la lubricación y refrigeración del paquete de discos, evitando los calentamientos excesivos.

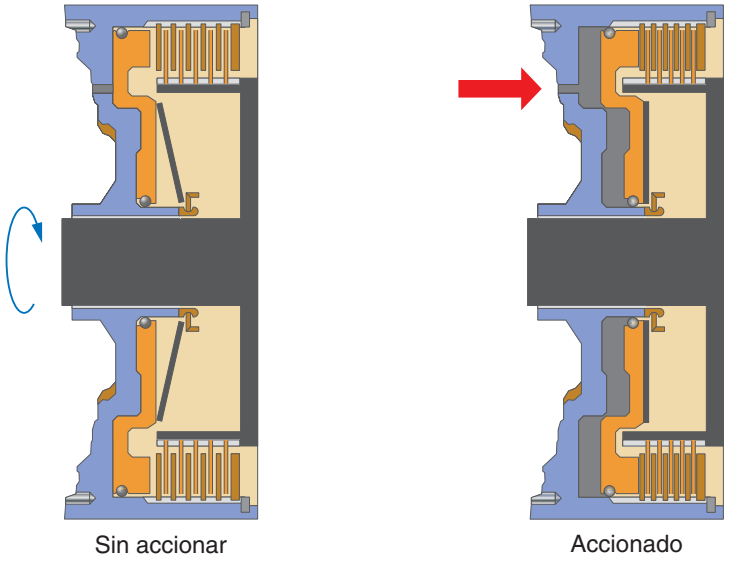


↑ **Figura 4.18.** Paquete de discos.



↑ **Figura 4.19.** Componentes del conjunto de freno de discos.

Los discos del conjunto de frenos están entrelazados y giran libremente, sin presión hidráulica. Cuando el conjunto recibe la presión, el aceite empuja el émbolo de accionamiento y comprime los discos del paquete, de modo que estos se frenan y el componente del cambio queda retenido. Al cesar la presión de aceite, el resorte del platillo empuja el émbolo liberando los discos de la presión, así, giran libremente el componente del cambio y los discos entre sí (figura 4.20).



↑ **Figura 4.20.** Funcionamiento del freno de discos.

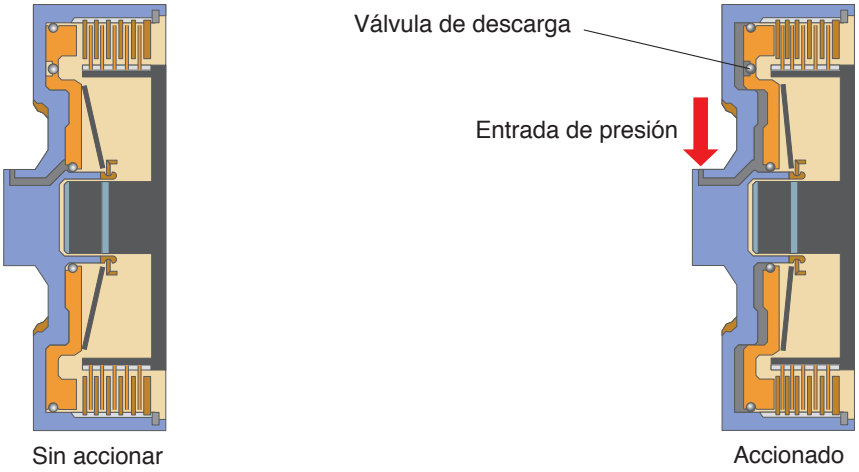
caso **práctico** inicial

El cambio Tiptronic de Audi dispone de embragues y frenos de discos para acoplar y separar los componentes de los trenes epicicloidales.

Embragues de discos

Los embragues de discos son elementos de mando que se emplean para acoplar o separar los componentes de un tren epicicloidal. Su constitución y funcionamiento es similar a la de los frenos de discos. La principal diferencia es la entrada de la presión al conjunto y por la incorporación de una válvula de descarga de presión.

En los embragues, el aceite accede al émbolo de mando por las ranuras y taladros practicados en el eje y en la corona del conjunto (figura 4.21). Estas canalizaciones se encuentran selladas por juntas.

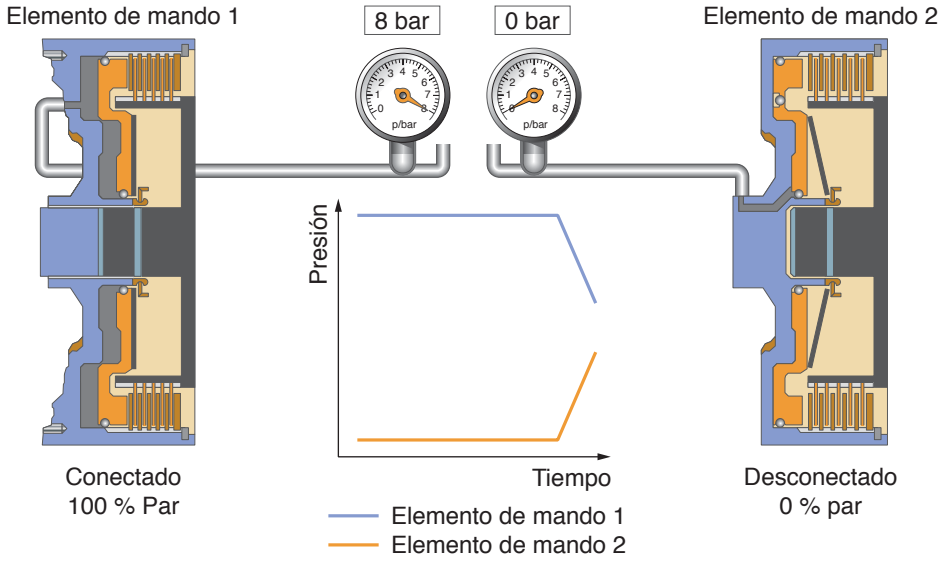


↑ **Figura 4.21.** Funcionamiento del embrague de discos.

2.3. Acoplamiento de frenos y embragues

El cambio automático permite realizar el cambio de velocidades con carga, al contrario que en el cambio manual.

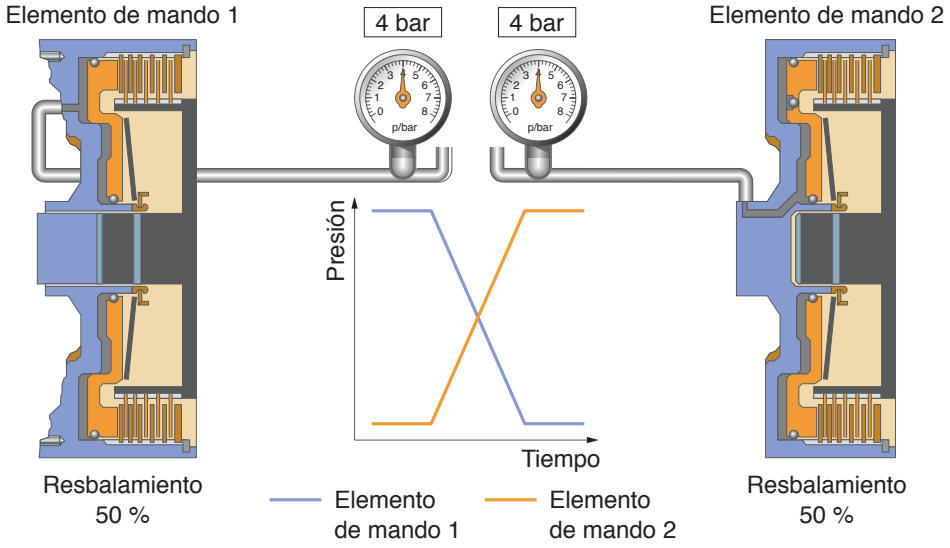
Cada velocidad tiene acoplado uno o varios elementos de mando (embragues o frenos) que se encarga de transmitir la fuerza o frenar un componente del tren epicicloidal. El acoplamiento del elemento se realiza con una presión de mando fija, por ejemplo 8 bar (figura 4.22).



↑ **Figura 4.22.** Elemento de mando1 acoplado con una presión de 8 bar.

2.4. Cruce de frenos y embragues

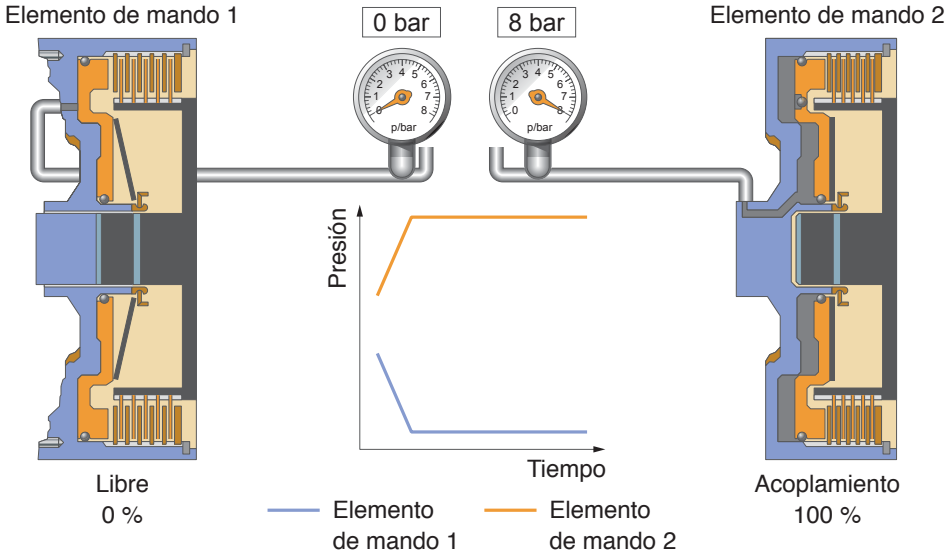
Al cambiar de velocidad, se acopla un elemento y se desacopla otro. Este cambio no es brusco, sino que un elemento empieza a resbalar cuando en el otro inicia el acoplamiento. El par transmitido por el elemento que comienza a patinar disminuye y en el elemento que se acopla aumenta, realizándose un cruce de presiones de mando, disminuyendo la presión en el elemento que se desacopla y aumentando en el elemento que se acoplará (figura 4.23).



↑ **Figura 4.23.** Cruce de presiones y transmisión de par.

La nueva velocidad queda totalmente conectada cuando el par del elemento último conectado supera al del elemento que se desacopla (figura 4.24).

Los acoplamientos de los elementos de los trenes se realizan con presión hidráulica (figuras 4.22, 4.23 y 4.24); el módulo electrónico del cambio controla las presiones y las electroválvulas de la central hidráulica para conseguir que el «cruce» se realice con suavidad y eficacia.



↑ **Figura 4.24.** Elemento de mando 2 acoplado con 8 bar.

saber más

Acoplamiento suave de velocidades

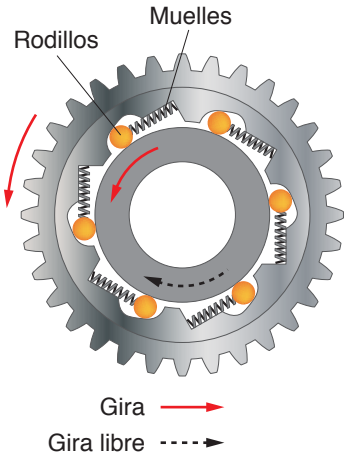
Para que el cruce sea correcto, cuando el elemento que desacopla pierde el 50% de par, ese elemento que se conecta lo gana, consiguiéndose así una transmisión de par continuo del 100% y una gran suavidad de marcha sin que se noten escalonamientos en las velocidades de la caja.

saber más

Deterioro de los discos

El desgaste prematuro de los forros de fricción de los discos puede producirse por un cruce inadecuado que forzará el rozamiento de los discos.

2.5. Rueda libre



↑ **Figura 4.25.** Rueda libre de rodillos.

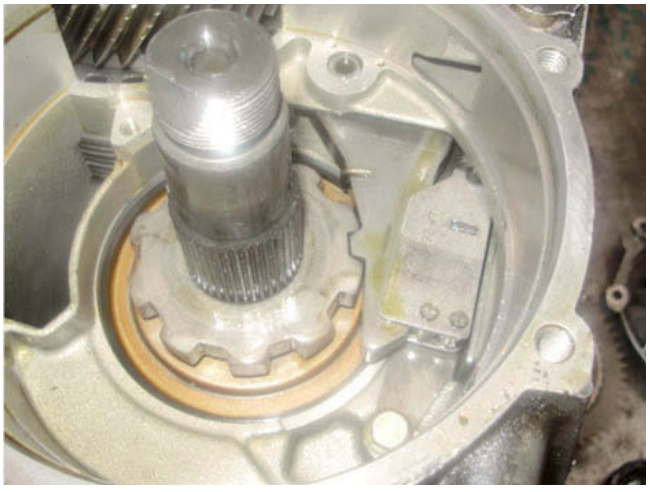
El control del cruce se puede simplificar con ruedas libres, ya sean de rodillos (figura 4.25) o de cuerpos de apriete.

Las ruedas libres toman el par en la dirección de bloqueo, mientras que en el sentido contrario giran libremente gracias al desacople automático del sistema de bloqueo. La rueda libre es el dispositivo de transmisión que emplean las bicicletas en la rueda trasera. Toma el par en sentido del pedaleo, en sentido contrario, gira libremente.

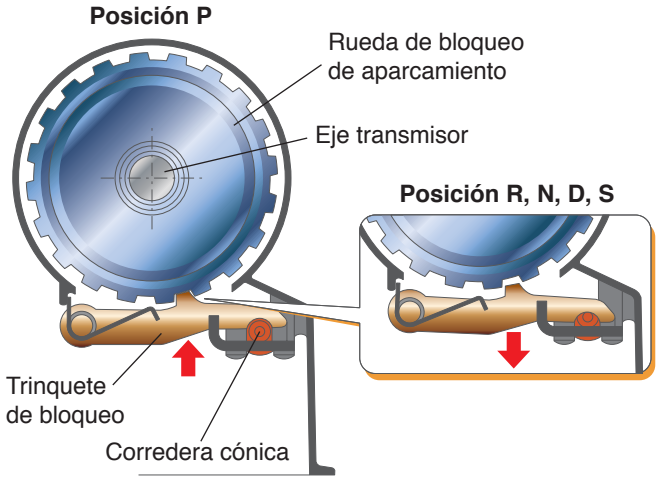
2.6. Dispositivo de aparcamiento

Las cajas automáticas disponen de un sistema de enclavamiento que permite bloquear el vehículo cuando está parado. Este sistema consiste en una rueda dentada que va engranada al eje de salida de la caja y un dispositivo de enclavamiento en forma de trinquete (figura 4.26).

Desde la palanca selectora a través de un cable se acciona el mecanismo de enclavamiento del trinquete. Al colocar la palanca en la posición «P» (parking) o estacionamiento, el dispositivo mecánico bloquea el eje transmisor, impidiendo así su movimiento y como consecuencia el del vehículo. El trinquete deja libre la rueda del eje cuando la palanca selectora se desplaza de la posición «P».

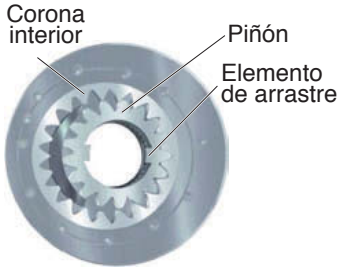


↑ **Figura 4.26.** Rueda dentada y trinquete.



↑ **Figura 4.27.** Dispositivo de bloqueo acoplado.

2.7. Bomba de aceite



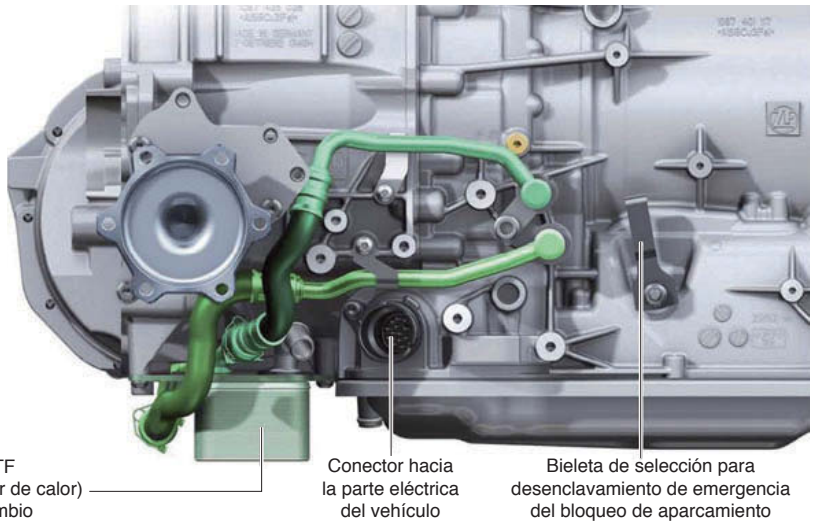
↑ **Figura 4.28.** Bomba de aceite de engranajes interiores.

La bomba de aceite es la encargada de generar el caudal hidráulico y hacer circular el aceite por el interior de la caja y del convertidor. Realiza la lubricación y el mando de los elementos que intervienen en el cambio (frenos y embragues).

Suele estar situada en la entrada de la caja, cerca del convertidor. Las bombas más empleadas son de caudal constante con engranajes rectos. La bomba dispone de una corona de dentado interior, un piñón con dentado exterior y una leva separadora entre los dentados (figura 4.28).

La bomba se acciona a través de un elemento de arrastre (patillas o engranajes) desde la maza del convertidor que engrana en el piñón central. La bomba girará siempre que el motor esté en marcha. No se debe remolcar el vehículo con el motor parado, la caja se quedaría sin lubricación.

El funcionamiento de la bomba se basa en el giro de los engranajes en las bombas de piñones o de las paletas en las bombas de paletas (figura 4.29), el giro de las paletas provocan una succión en el lado de entrada de la bomba. Esta succión extrae el aceite del cárter inferior de la caja y lo hace circular por el interior de la bomba; el líquido presurizado retorna hacia la salida de la bomba, la presión en el circuito se controla por válvulas reguladoras de presión que se encuentra en la centralita hidráulica. El aceite con el funcionamiento se calienta bastante y es necesario enfriarlo, la caja de cambios dispone de un radiador-intercambiador de líquido refrigerante aceite ATF (figura 4.30).



↑ **Figura 4.30.** Radiador ATF (fuente Audi).

2.8. Caja de válvulas (centralita hidráulica)

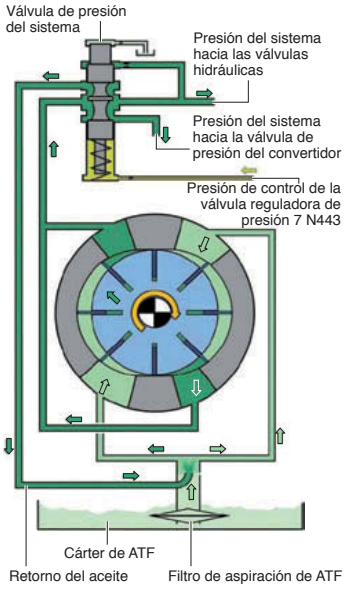
Se encuentra situada en la parte inferior de la caja, en el cárter de aceite junto al filtro. La caja de válvulas es el mecanismo que gestiona todo control hidráulico de la caja de cambios.

Consiste en un cuerpo de aluminio fundido con canalizaciones hidráulicas que unen las diferentes electroválvulas (figura 4.31). El conjunto permite el anclaje de las electroválvulas y de la válvula de accionamiento manual (figura 4.32). Los distintos elementos que dispone la caja de válvulas dependen del tipo y del diseño de la caja automática.

Principalmente, consta de:

- Electroválvulas de cambio de velocidad (se encuentran abiertas o cerradas).
- Electroválvulas reguladoras o moduladoras de presión.
- Válvula de accionamiento manual, sincronizada con la palanca selectora.
- Electroválvula del convertidor (circulación de aceite).
- Electroválvula o solenoide del embrague del convertidor (anulación).
- Sensores de presión y temperatura del aceite ATF.
- Acumulador de presión.

Las electroválvulas del cambio de velocidad de la caja son de corredera y se accionan por solenoides eléctricos controlados por el módulo o centralita del cambio, se encargan de abrir o cerrar los frenos o los embragues y trabajan con el princi-



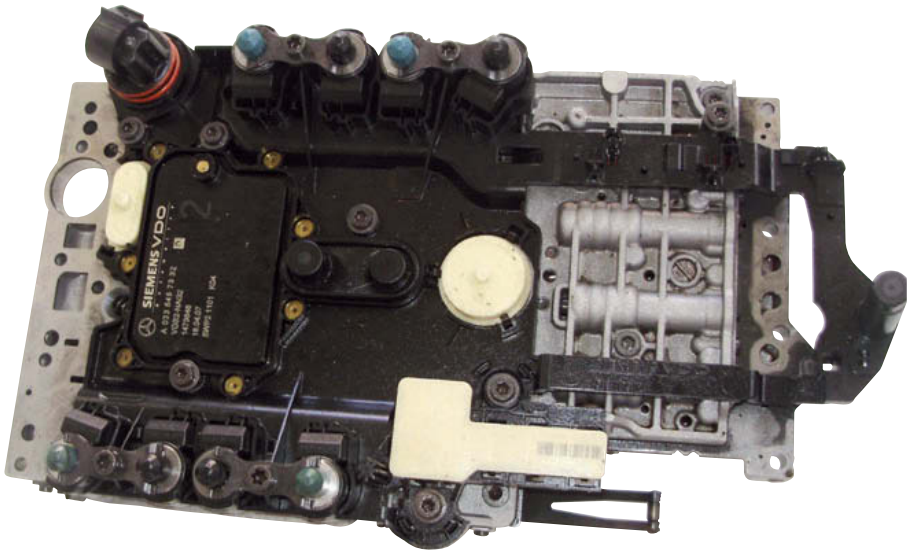
↑ **Figura 4.29.** Bomba de paletas (fuente Audi).

saber más

En los modelos equipados con el sistema Star-Stop y cambio automático, la bomba de aceite del cambio se acciona con un motor eléctrico. La bomba eléctrica sigue girando la bomba del aceite del cambio en el momento en que el motor térmico se para (en los semáforos o paradas prolongadas).

↑ **Figura 4.31.** Piñón de la bomba y canalizaciones de la caja de válvulas.

pio de abiertas o cerradas, normalmente sin corriente se encuentran cerradas y cuando el módulo las alimenta se abren para permitir el paso de aceite a presión a los frenos y embragues.



↑ **Figura 4.32.** Bloque hidráulico con centralita electrónica incorporada.

caso **práctico** inicial

Los tres tipos de cambios automáticos que Luis desea conocer disponen de un circuito hidráulico y caja de válvulas para comandar la gestión hidráulica.

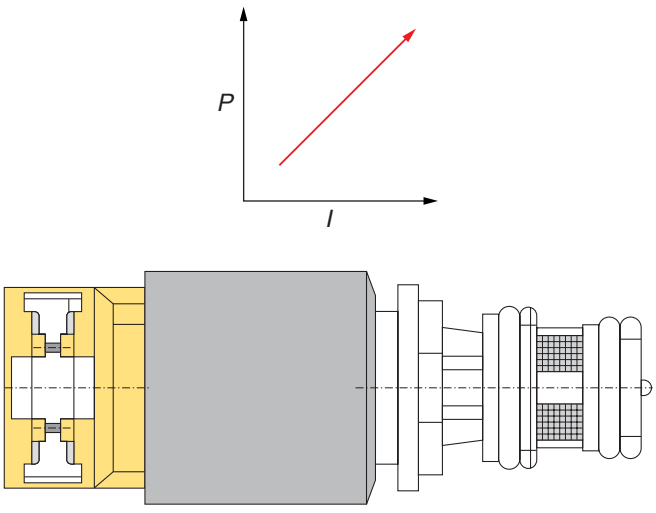
Las electroválvulas moduladoras (EDS) se encargan de regular la presión hidráulica en los circuitos de los elementos de mando (frenos y embragues).

Las electroválvulas moduladoras transforman la corriente eléctrica de control en una presión de mando con hidráulica proporcional. Se montan dos tipos de válvulas moduladoras, las moduladoras con una curva característica ascendente, significa, que a medida que asciende la intensidad de mando desde el módulo, también asciende la presión de control (figura 4.33).

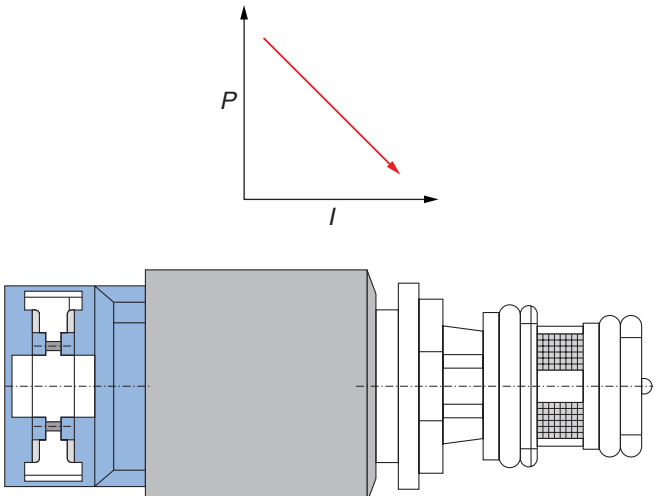
Sin corriente - no hay presión de control (0 mA = 0 bar).

Las moduladoras con característica descendente: a medida que aumenta la corriente de gestión, disminuye la presión de control (figura 4.34).

Sin corriente - presión de control máxima.



↑ **Figura 4.33.** Válvula moduladora de presión ascendente.



↑ **Figura 4.34.** Válvula moduladora de presión descendente.

2.9. Sensores (captadores)

Son los encargados de transmitir a la unidad de control de la caja (módulo) todas las señales eléctricas de los captadores que se necesitan para el funcionamiento de la caja automática. Se pueden clasificar en dos grupos:

Sensores o entradas directas

Son entradas con conexión directa al módulo del cambio. Son entradas directas entre otras:

- La tensión de la batería (+).
- La tensión del encendido (motor arrancado).
- Captador multifunción de posición de la palanca selectora (P, N, 1.2.D.R.).
- Sensor de temperatura del aceite de la caja.
- Sensor de rpm del eje de entrada a la caja.
- Sensor de rpm del eje de salida.
- Sensor *kick-down* (según modelos).

Las modernas cajas automáticas emplean sensores Hall situados en su interior.

Sensores o entradas indirectas

Los sensores o entradas indirectas son imprescindibles para la gestión del cambio, estos captadores no se conectan directamente al módulo del cambio, sino que se conectan a otros módulos, la información llega al cambio por la red de comunicación entre módulos CAN BUS.

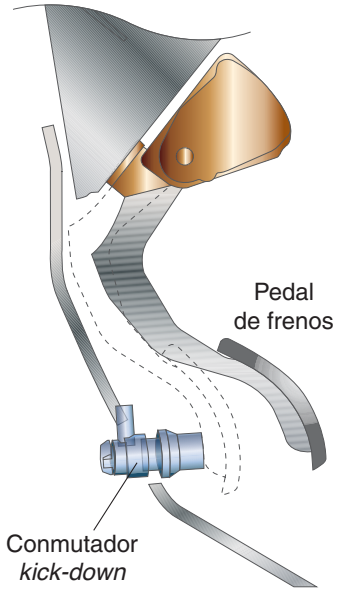
Los sensores o captadores indirectos son los siguientes:

- Sensores de posición del pedal del acelerador (módulo de gestión de motor).
- Sensor de rpm del motor (módulo de gestión de motor).
- Interruptor de frenado (módulo ABS según modelos).

saber más

Kick-down

El sensor *kick-down* detecta la posición de máxima aceleración momentánea (pedal a fondo y necesidad de gran potencia). La caja cambia a una velocidad inferior.



↑ **Figura 4.35.** Posición del captador *kick-down.*

2.10. Centralita electrónica (módulo)

La centralita electrónica de gestión del cambio es un microprocesador capaz de procesar todas las señales que recibe de los sensores directos e indirectos. La centralita puede encontrarse separada de la caja de cambios (figura 4.36) o formando un conjunto, módulo hidráulico y electrónico, que se encuentra dentro de la caja de cambios (figura 4.37).

↑ **Figura 4.36.** Módulo electrónico del cambio independiente.

↑ **Figura 4.37.** Conjunto de módulo hidráulico y unidad de control (fuente Audi).

Las señales de los sensores son analizadas y procesadas para realizar el programa de cambios de la caja. La activación de las electroválvulas en la unidad hidráulica provoca la apertura o el cierre de una canalización de aceite para producir el frenado, liberación o unión de los distintos elementos de los trenes epicicloidales y así obtener las distintas velocidades de que disponga el cambio.

2.11. Dispositivos de seguridad del cambio automático

caso práctico inicial

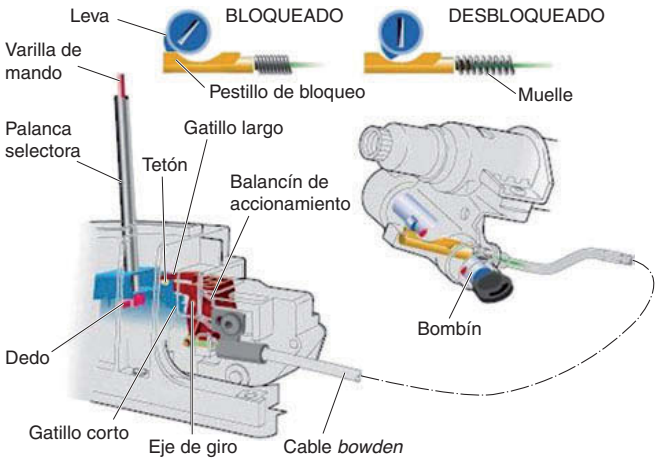
Los tres tipos de cambios automáticos del A4 disponen de dispositivos de seguridad: bloqueo de arranque, bloqueo de llave y de la palanca selectora.

El módulo electrónico del cambio transmite las señales necesarias al resto de módulos para controlar los dispositivos de seguridad del cambio automático: bloqueo del arranque, extracción de llave y bloqueo de la palanca selectora.

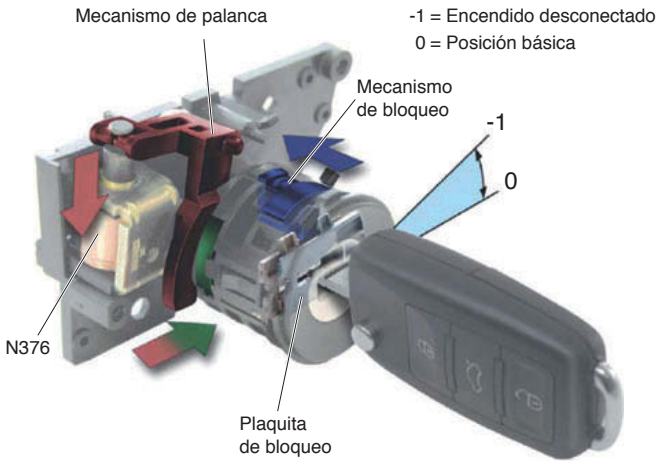
La función del bloqueo de arranque solo permite excitar el motor de arranque al estar la palanca selectora en posiciones P o N.

Bloqueo antiextracción de la llave de contacto

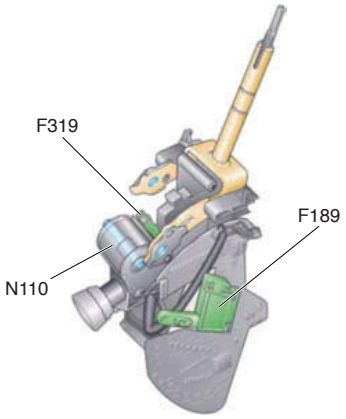
La función del bloqueo de la llave es la de impedir que se pueda extraer la llave de contacto cuando la palanca selectora se encuentre en una posición de marcha. El dispositivo de bloqueo antiextracción de la llave de contacto puede funcionar de dos modos: mecánicamente con un cable y dispositivo de bloqueo (figura 4.38) y de forma electromecánica con un electroimán N376 y el mecanismo de bloqueo, colocado en la llave de contacto (figura 4.39).



↑ **Figura 4.38.** Bloqueo antiextracción de la llave mecánico.



↑ **Figura 4.39.** Bloqueo de la llave con electroimán (fuente VW).



↑ **Figura 4.40.** Palanca selectora y electroimán de bloqueo.

La unidad de control para electrónica de la columna de dirección detecta la posición de la palanca selectora.

Si la palanca selectora se encuentra en posición «P», el módulo lo detecta y no se aplica corriente al electroimán para bloqueo antiextracción de la llave de contacto N376.

La llave de contacto puede ser extraída solamente en posición «P», bloqueo de parking.

Bloqueo de la palanca selectora

El bloqueo de la palanca selectora sirve para impedir que se seleccione por equivocación una gama de marchas al estar el motor en funcionamiento o parado.

El electroimán para bloqueo de la palanca selectora N110 se encarga de bloquear la palanca en las posiciones «P» y «N» (figura. 4.40). La palanca selectora no se libera hasta que no se pise el pedal de freno.

2.12. Funcionamiento en posición Tiptronic

Los modernos cambios automáticos pueden funcionar de dos modos distintos: automático y Tiptronic según la posición de la palanca selectora (figura 4.41).

↑ **Figura 4.41.** Posición en automático.

↑ **Figura 4.42.** Posición en Tiptronic.

Colocando la palanca selectora en la posición «D», la transmisión selecciona de forma automática las marchas de 1 a 5, como un cambio automático normal.

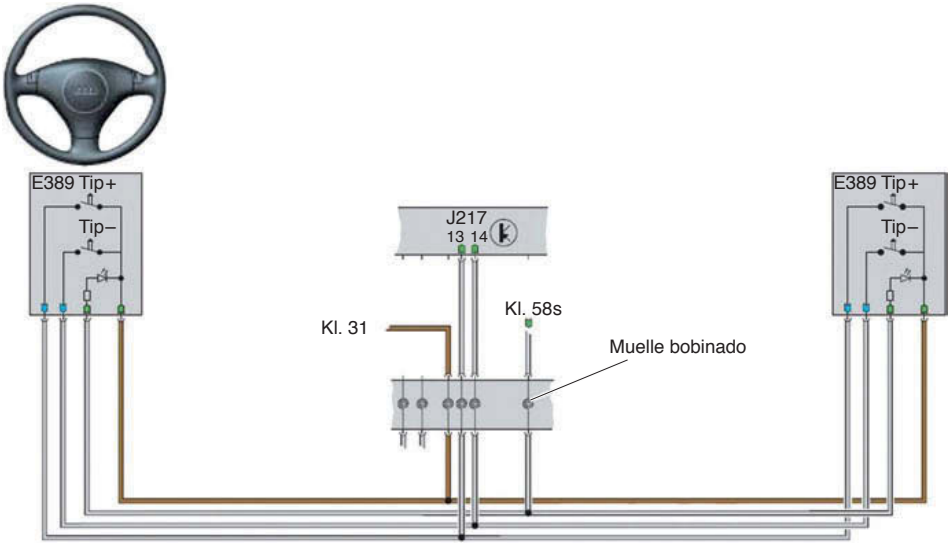
Si se coloca la palanca selectora a la pista de selección de la derecha, la transmisión pasa al programa Tiptronic. Con programa de gestión Tiptronic se pulsa brevemente la palanca selectora hacia delante o hacia atrás, la transmisión cambia respectivamente hacia una marcha superior o inferior.

En el cuadro de instrumentos se visualiza la marcha que se encuentra engranada momentáneamente.

El mando del Tiptronic se puede colocar también en el volante (figura 4.43). Los pulsadores del volante E389 se alimentan con corriente de masa, para subir una velocidad se cierra el interruptor Tip+, la corriente negativa llega al módulo del cambio J 217 al pin 13, para bajar una velocidad se cierra el interruptor Tip-. Pin 14.

caso práctico inicial

El fabricante Audi identifica con el nombre de Tiptronic los cambios automáticos con convertidor de par y trenes epicicloidales que funcionan con las dos posiciones de la palanca selectora, P,R,N,D o +-



↑ **Figura 4.43.** Pulsadores del Tiptronic en el volante (fuente Audi).

3. Cambios automáticos sin centralita electrónica

Los primeros vehículos que equipaban cambio automático no disponían de módulos o centralitas electrónicas de gestión (UEC).

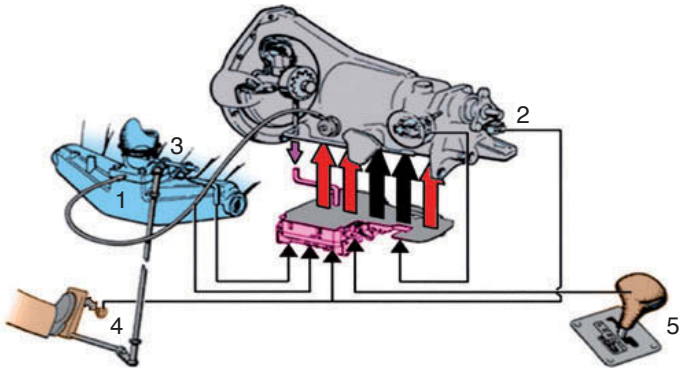
La incorporación de la gestión electrónica en los vehículos se inicia con los encendidos transistorizados, la inyección electrónica y los frenos con ABS. En los cambios automáticos también se incorpora la gestión electrónica, mejorando el funcionamiento y la rapidez del cambio sin electrónica.

En el cambio automático sin gestión electrónica, el cambio de velocidades se realiza regulando y modulando las presiones del grupo hidráulico. Los sensores de que dispone la caja actúan sobre el grupo hidráulico reduciendo o aumentando la presión en un circuito. El incremento de presión provocará el accionamiento de un freno o embrague que frenará o liberará un elemento del tren epicicloidal; de este modo, se realiza el cambio de una velocidad a otra, igual que ocurre en los cambios controlados electrónicamente.

La palanca selectora de marcha va unida a la válvula manual de gobierno de la presión del circuito, lo que permite la selección de las distintas gamas de velocidades y el mecanismo de estacionamiento «P» (parking).

Los dispositivos o sensores que intervienen en estos cambios son:

- Captador de depresión del colector de admisión (1).
- Regulador centrífugo en el eje de salida de la caja (2).
- Sensor de posición del pedal del acelerador (3).
- Sensor de *kick-down* (4).
- Posición de la palanca selectora (P-N-R-1-2-D) (5).



↑ **Figura 4.44.** Sensores de un cambio automático sin gestión electrónica.

ACTIVIDADES

2. Busca en el manual de un vehículo que equipe cambio automático sin gestión electrónica, y realiza el esquema de la posición de los sensores.

3. Enumera el tipo de frenos y embragues de que dispone.

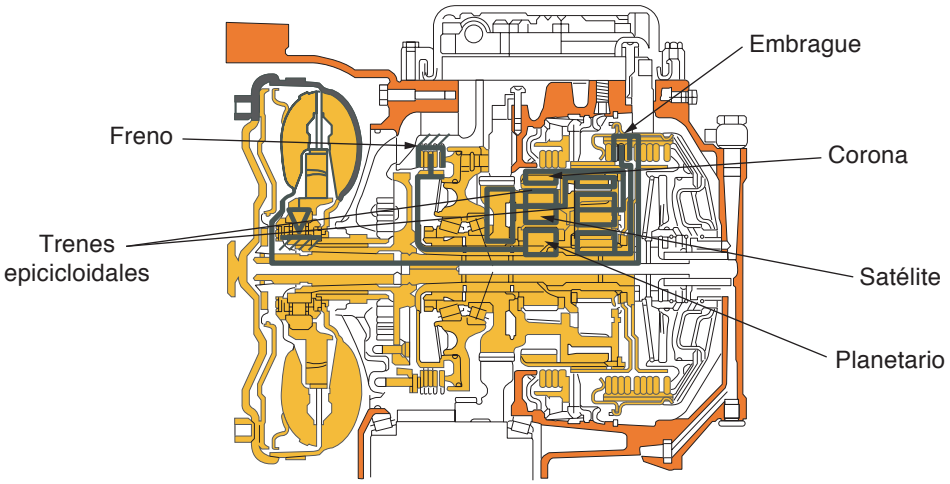
4. Busca modelos de vehículos equipados con cambio automático con Tiptronic.

4. Esquemas de transmisión de fuerza en las cajas automáticas

Los esquemas interiores de los cambios automáticos son necesarios para verificar:

- La transmisión del par.
- Qué elementos están frenados.
- Por dónde entra el movimiento.
- Cuál es la salida de movimiento del tren.

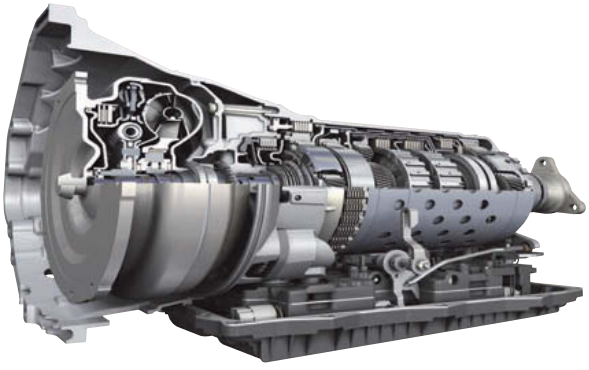
Los esquemas que se emplean en esta unidad solamente representan la mitad superior del cambio, que es representativa del conjunto de la transmisión.



↑ **Figura 4.45.** Representación de la transmisión en las cajas automáticas.

5. Funcionamiento del cambio automático ZF 5 HP 30

El cambio 5 HP lo fabrica la casa ZF y lo monta el grupo BMW en los vehículos de las series 5 y 7. El cambio es capaz de transmitir un par de 560 Nm. El diseño del cambio se ha realizado sobre tres juegos de trenes epicicloidales con acoplamiento Wilson y se pueden obtener cinco velocidades y marcha atrás.

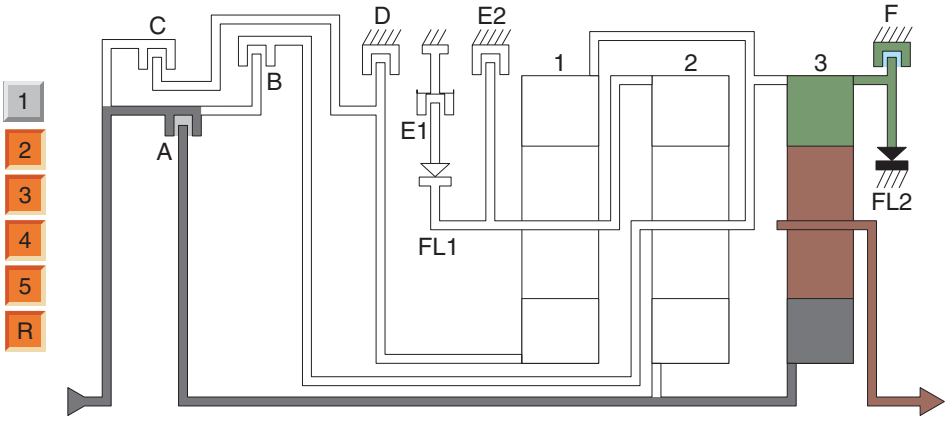


↑ **Figura 4.46.** Convertidor y cambio automático seccionado (fuente ZF).

El cambio dispone de los siguientes componentes: tres trenes epicicloidales 1, 2, 3, tres embragues «A, B, C» cuatro frenos «D, E1, E2, F» y dos ruedas libres «FL1, FL2» La combinación de trenes epicicloidales frenando los distintos componentes permiten conseguir 5 velocidades y marcha atrás.

5.1. Primera velocidad

El par entra por el embrague «A», que se encuentra enclavado, y acciona el tercer conjunto epicicloidal por medio del piñón planetario; la corona dentada está bloqueada por la rueda libre FL2 y en retención por del freno «F». El par sale por el eje portasatélites con la máxima reducción de la caja (figura 4.47).

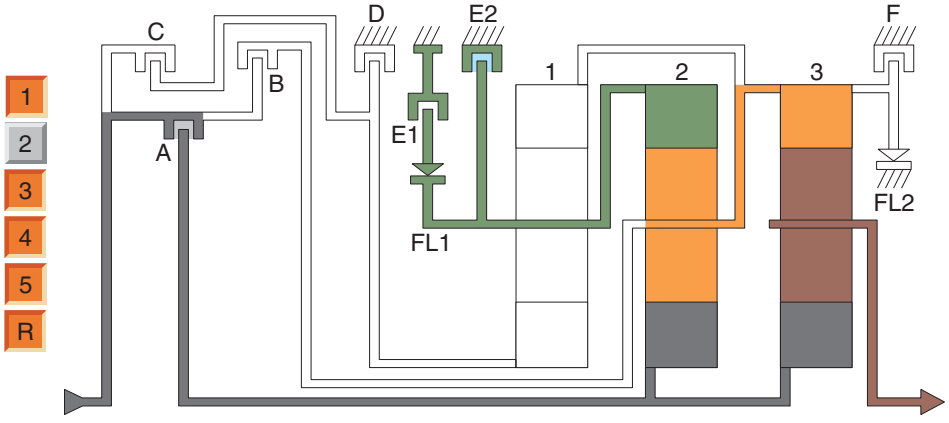


↑ **Figura 4.47.** Primera velocidad.

5.2. Segunda velocidad

En segunda velocidad el par entra por el embrague A, al segundo y tercer tren por medio de sus planetarios que se encuentran unidos (planetario doble tipo Simpson).

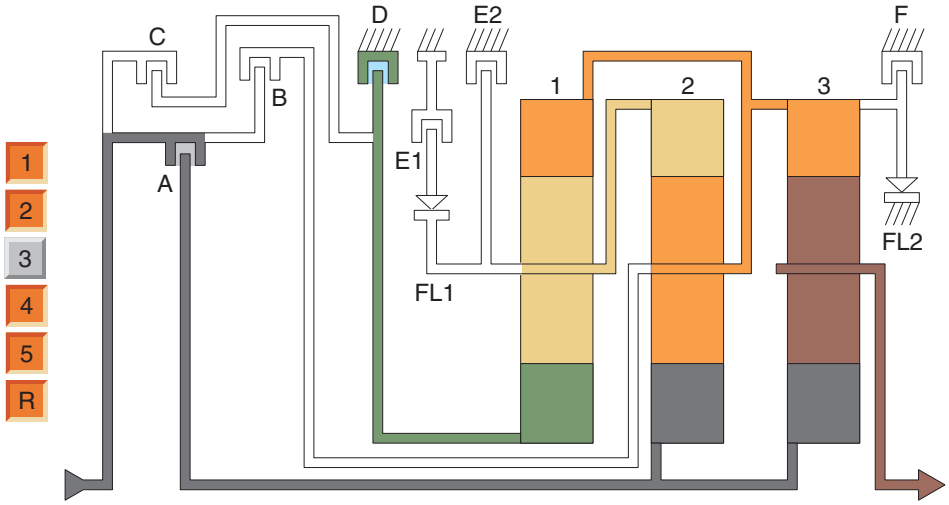
La corona del segundo tren se encuentra frenada por el freno E1 y la rueda libre FL1 o bien por el freno E2 en retenciones. El portasatélites del segundo tren impulsa la corona del tercer tren y produce un efecto similar al de andar sobre una escalera mecánica en movimiento. En el tercer juego, la salida del par se produce por el eje portasatélites del tercer tren igual que en la primera velocidad, pero con menos reducción, teniendo en cuenta que la corona del tercer tren se encuentra en movimiento (figura 4.48).



↑ **Figura 4.48.** Segunda velocidad.

5.3. Tercera velocidad

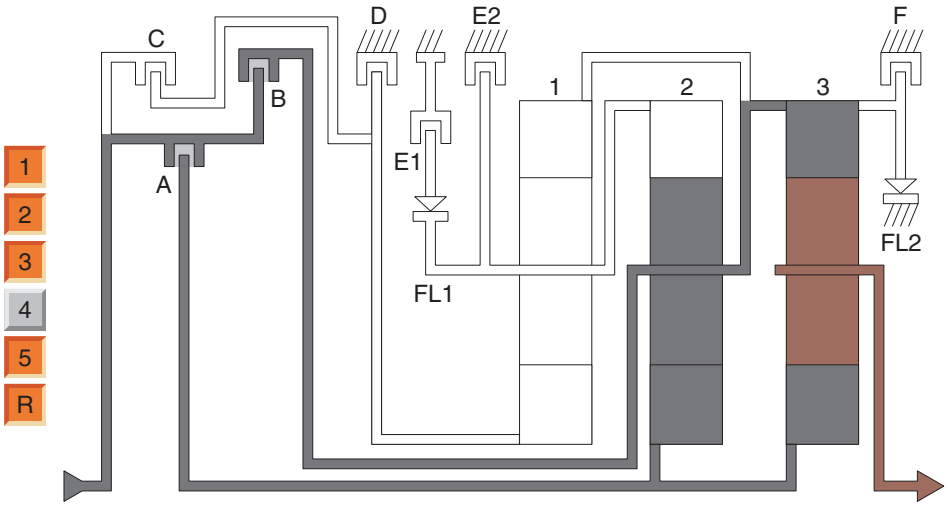
En la tercera velocidad (figura 4.49) intervienen los tres juegos epicicloidales, los juegos 2º y 3º se impulsan igual que en la primera y segunda velocidad. El planetario del primer tren se encuentra frenado por el freno D. Al contrario que en la segunda velocidad, los satélites del primer juego ruedan contra el planetario fijo impulsando así la corona de dentado interior del segundo tren, con lo que resulta un efecto de escalera mecánica por partida doble de modo que la desmultiplicación final sea más pequeña que en la segunda velocidad.



↑ **Figura 4.49.** Tercera velocidad.

5.4. Cuarta velocidad

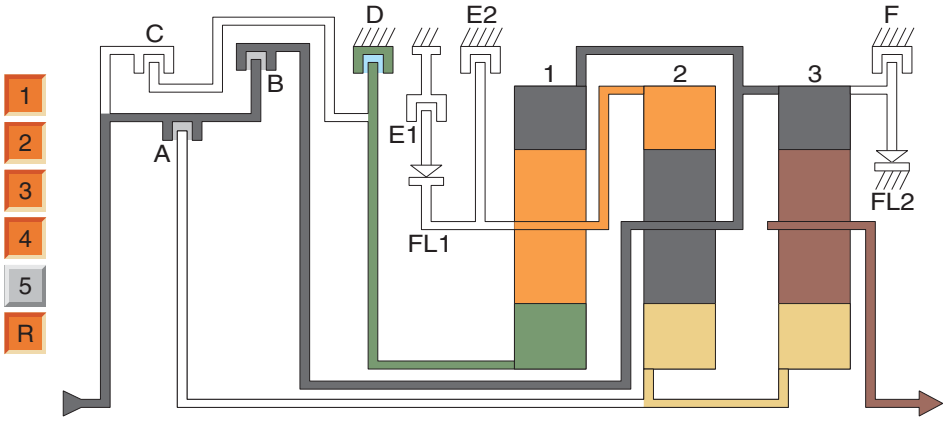
En esta velocidad, el segundo y tercer engranaje planetario forman un bloque, para conseguirlo el par se transmite a dos elementos del tren. En el segundo tren, se transmite el par por el planetario doble y al eje portasatélites por el embrague B. El tercer tren recibe el par por el planetario doble igual que en el segundo tren y la segunda entrada se realiza desde el eje portasatélites del segundo tren. La salida del par se realiza por el eje portasatélites del tercer tren; con este diseño se consigue una relación de transmisión de 1:1 (figura 4.50).



↑ **Figura 4.50.** Cuarta velocidad, directa.

5.5. Quinta velocidad

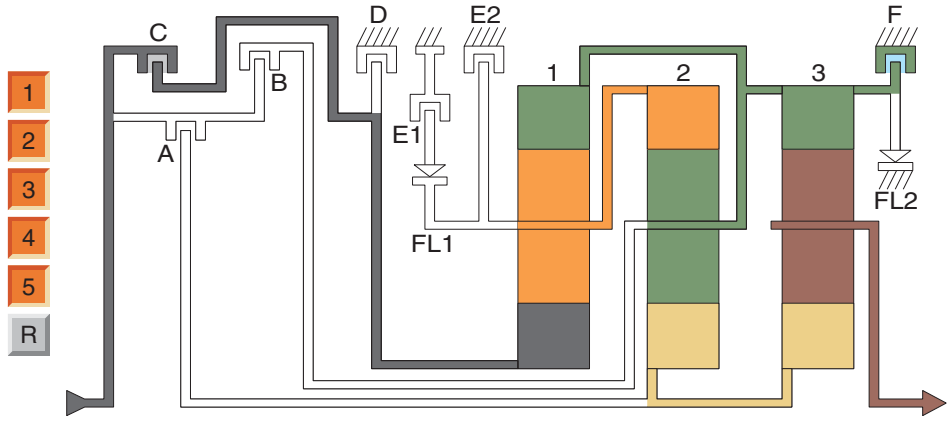
El par de rotación entra por el embrague de discos B, que se encuentra conectado, hasta el segundo eje portasatélites que a su vez transmite el giro a la corona del primer juego y del tercero. El planetario del primer tren se encuentra bloqueado por el freno D. La salida de fuerza de este tren se produce por el eje portasatélites hasta la corona del segundo tren. El segundo tren epicicloidal se encuentra con la corona impulsada y el eje portasatélites también; la salida par se produce por el planetario doble, que transmite el giro al tercer tren. Este tren, por lo tanto, recibe el giro por la corona y por el planetario, dando lugar a un efecto de escalera mecánica favorable, por lo que la salida del par en su eje portasatélites resultará una pequeña multiplicación hacia marcha rápida (figura 4.51).



↑ **Figura 4.51.** Quinta velocidad.

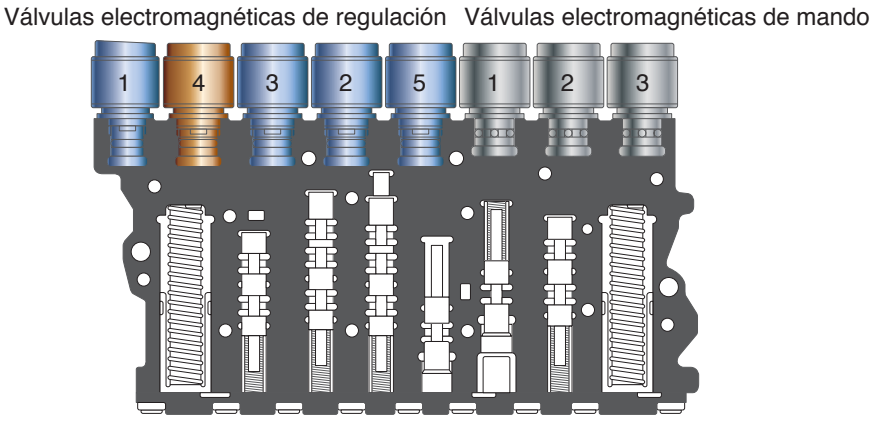
5.6. Marcha atrás

En la marcha atrás intervienen los tres juegos de satélites. El par entra por el embrague «C» al primer tren por el piñón planetario. El conjunto tambor, formado por la corona del primer tren, el eje portasatélites del segundo y la corona del tercer tren, se encuentra frenado por el freno F, el giro sale por el eje portasatélites hasta la corona del segundo tren. El segundo tren tiene frenado el eje portasatélites con el freno F, lo que produce la inversión del giro. La corona del segundo tren gira y transmite el par en sentido contrario al planetario doble, que transmite el par al tercer tren. La corona del tercer tren se encuentra frenada, freno F, el par, por tanto, saldrá por el eje portasatélites como en el resto de velocidades pero en sentido contrario marcha atrás (figura 4.52).



↑ **Figura 4.52.** Marcha atrás.

El bloque hidráulico dispone de cinco electroválvulas de regulación de presión y de tres electroválvulas de mando, las cuales transforman las señales del módulo electrónico de gestión en presiones de mando hacia los frenos o embragues.



↑ **Figura 4.53.** Bloque hidráulico con las válvulas de regulación y de mando.

5.7. Lógica de electroválvulas, embragues, frenos y ruedas libres

En la tabla de actuación de las electroválvulas de mando y regulación para cada velocidad, se puede analizar el elemento que falla cuando la caja no funciona correctamente; también se observan los frenos, embragues y ruedas libres que actúan en cada velocidad, así como el programa de emergencia que la caja dispone en caso de avería.

	Válvulas electromagnéticas de mando			Válvulas electromagnéticas de regulación					Embragues			Frenos				Ruedas libres	
	1	2	3	1	2	3	4	5	A	B	C	D	E1	E2	F	Fl1	Fl2
R		•		•	•	•		•			•				•		
N	•			•	•	•		•									
D. 1ª marcha	•			•	•	•		•	•						•		•
D. 2ª marcha	•	•		•		•		•	•				•	•		•	
D. 3ª marcha		•		•	•	•		•	•			•					
D. 4ª marcha		•		•	•		•	•	•	•							
D. 5ª marcha			•	•	•		•	•		•		•					
2. 1ª marcha	•			•	•	•		•	•						•		
Programa de emergencia									•	•							

↑ **Tabla 4.2.** Lógica de funcionamiento del cambio ZF 5 HP 30.

ACTIVIDADES

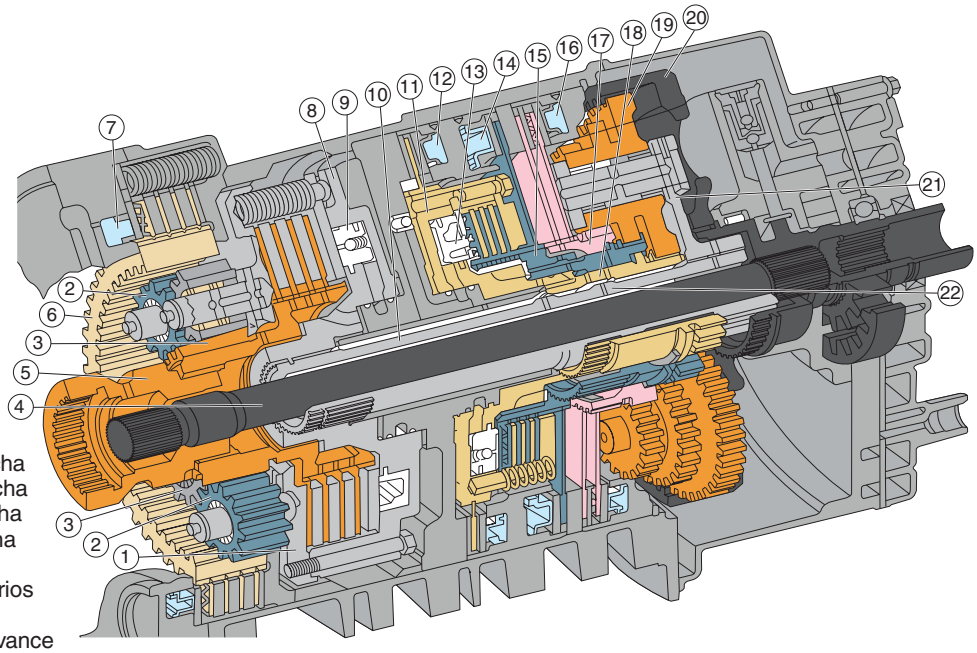
5. Tomando el cambio ZF 5HP 30:

- Analiza la tabla de funcionamiento del cambio y cómo afecta el fallo de un elemento al resto de velocidades.
- ¿Qué embragues y frenos actúan en cada velocidad?
- Si el freno (E1) falla, ¿en cuántas velocidades se notará el fallo?

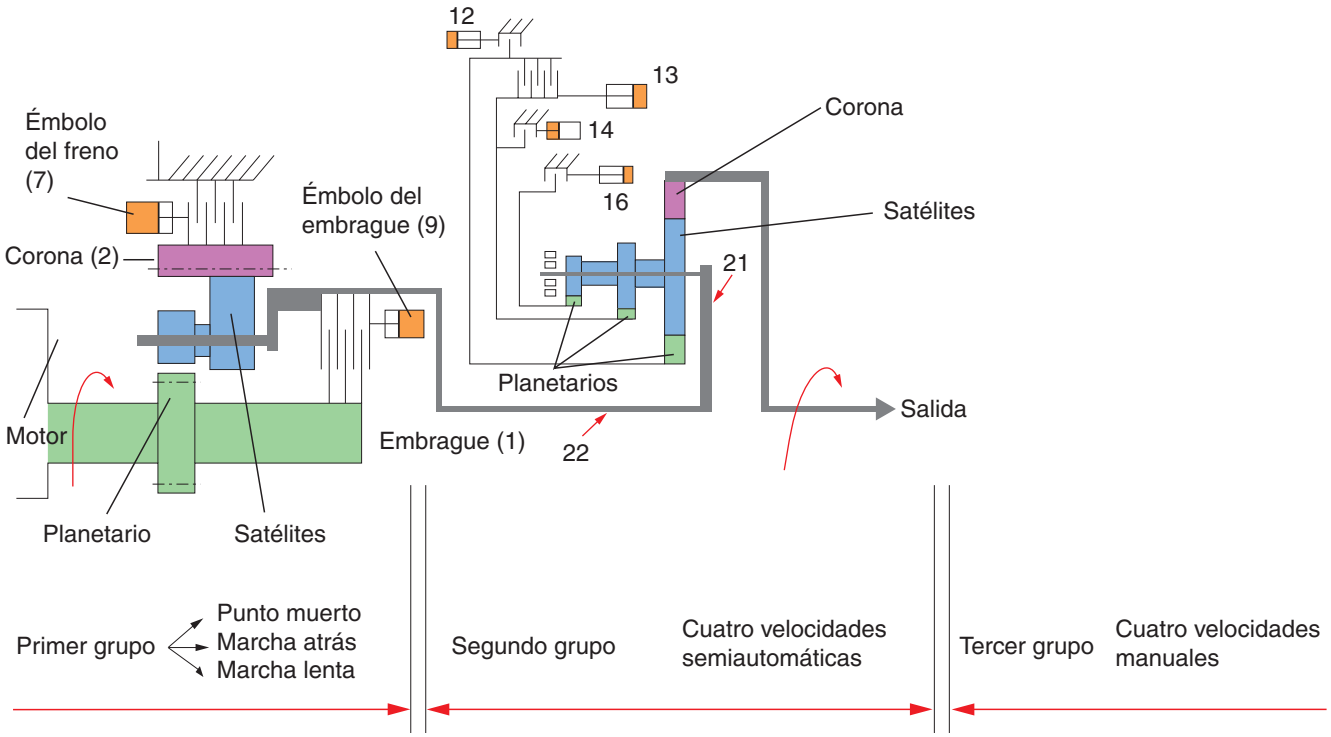
6. Cambios semiautomáticos

Los cambios semiautomáticos son el escalón intermedio entre el cambio totalmente manual y el automático. No emplean centralita y el cambio de velocidades se realiza con un mando y un circuito hidráulico, el cambio emplean trenes epicicloidales para conseguir las relaciones de transmisión y para invertir el sentido de la marcha (figura 4.54).

1. Portaplanetarios de retroceso
2. Piñones planetarios (exteriores)
3. Piñones planetarios (interiores)
4. TDF
5. Eje de salida de la transmisión
6. Corona
7. Émbolo del freno de retroceso
8. Tambor de embrague
9. Émbolo del embrague de avance
10. Eje de mando del embrague de avance
11. Tambor de embrague
12. Émbolo del freno de tercera marcha
13. Émbolo del embrague de cuarta marcha
14. Émbolo del freno de segunda marcha
15. Engranaje solar de segunda marcha
16. Émbolo del freno de primera marcha
17. Engranaje solar de primera marcha
18. Engranaje solar de tercera marcha
19. Piñón planetario
20. Engranaje de entrada de planetarios
21. Portaplanetarios
22. Eje de mando del embrague de avance



↑ **Figura 4.54.** Componentes de la transmisión semiautomática PowrQuad.



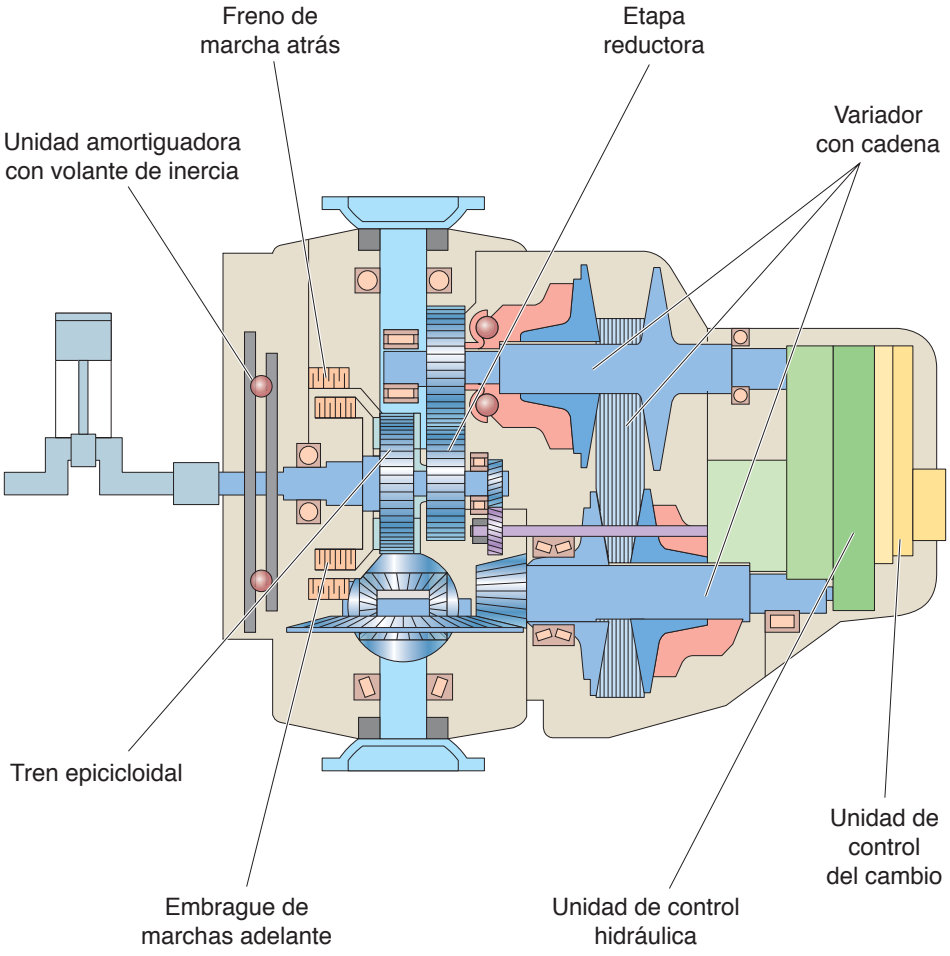
↑ **Figura 4.55.** Esquema de componentes de un cambio semiautomático PowrQuad.

7. Variadores o cambios automáticos CVT

Los variadores son conjuntos mecánicos empleados como cajas de cambios. La transformación y transmisión del par motor y la velocidad de giro se consigue de un modo continuo, sin el escalonamiento que se produce en los cambios manuales o automáticos.

En un cambio manual cada velocidad tiene una relación de transmisión, es decir, reduce o amplifica la velocidad de giro del motor con la consiguiente reducción o amplificación del par de salida.

Los variadores están diseñados para una amplia gama de relaciones de transmisión, desde relaciones de multiplicación de 6:1 hasta 0,5:1. El sistema permite acelerar el vehículo de forma deportiva aprovechando la gran desmultiplicación inicial 6:1. A medida que se aumentan las revoluciones del motor, disminuye la desmultiplicación del variador que puede llegar hasta valores de 0,5:1.



↑ **Figura 4.56.** Conjunto variador CVT Multitronic (fuente Audi).

El variador solo no puede realizar la marcha atrás, el conjunto de cambio CVT dispone de un tren epicicloidal para marcha atrás y un freno de discos bañados en aceite. Un embrague de discos realiza la función de acoplamiento en marcha adelante (figura 4.56).

saber más

Extroid CVT

El cambio Extroid CVT, de Nissan, utiliza el concepto de cambio toroidal.

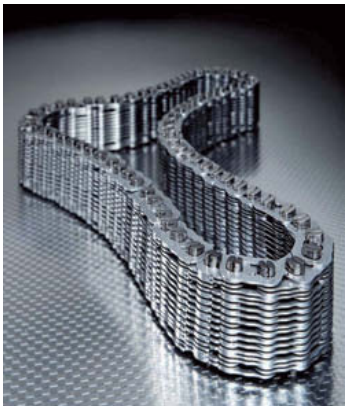
De este modo, en lugar de usar una correa o una cadena para variar la relación de transmisión, utiliza un par de rodillos que modifican su ángulo de ataque sobre los discos de los ejes de entrada y salida.

saber más

Ford-ZF CVT 23

Ford ha desarrollado un variador en colaboración con ZF, denominado Ford-ZF CVT 23, que optimiza al máximo el rendimiento del motor con las ventajas del variador. La unión del variador con el motor se realiza con un convertidor de par con bloqueo. Este variador se puede utilizar como un cambio secuencial gracias a un módulo de control que integra un programa de siete cambios prefijados que, accionados por la palanca selectora en el carril derecho del cambio, permiten reducir o aumentar la velocidad a voluntad del conductor.

Funcionamiento de los variadores



↑ **Figura 4.57.** Cadena de transmisión para cambios automáticos CVT.

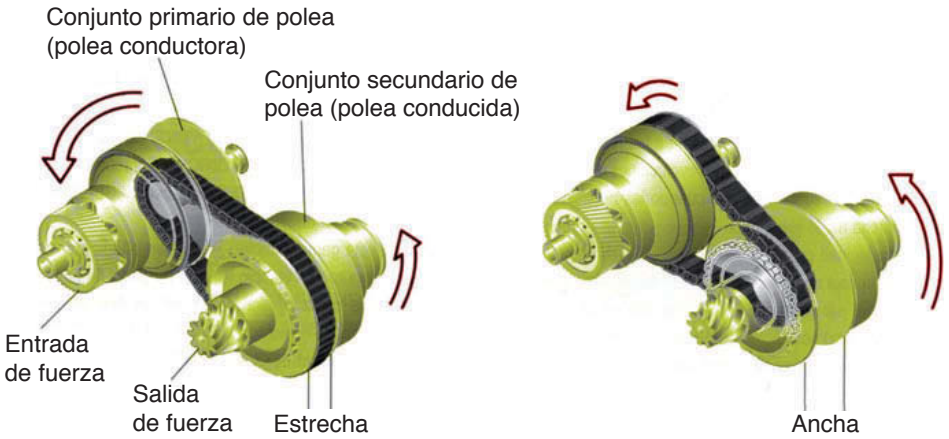
Los variadores utilizados en automóviles emplean como elemento transmisor un robusto par de poleas con diámetro de trabajo variable.

Como elemento transmisor utilizan una correa o cadena flexible que transmite el giro entre las poleas, conductora y conducida (figura 4.57). Las poleas están diseñadas para modificar la anchura de sus gargantas cónicas mediante el desplazamiento de una cara sobre la otra (figura 4.58). Las partes móviles de las poleas son accionadas por el circuito hidráulico del variador. Una vez sincronizadas ambas poleas, el diámetro que pierde la polea conductora lo gana la polea conducida manteniendo así constante la longitud de la cadena.

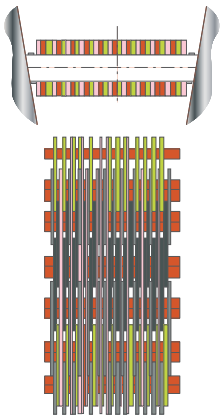
De este modo, se puede modificar el diámetro de trabajo de las poleas de forma continua y originando diferentes relaciones de transmisión. No existe escalonamiento entre una relación de transmisión y la inmediatamente superior o inferior.

caso práctico inicial

El cambio automático Multitronic del A4 es cambio tipo variador CVT.



↑ **Figura 4.58.** Funcionamiento del CVT multitronic.



↑ **Figura 4.59.** Asiento de la cadena entre las poleas del variador.

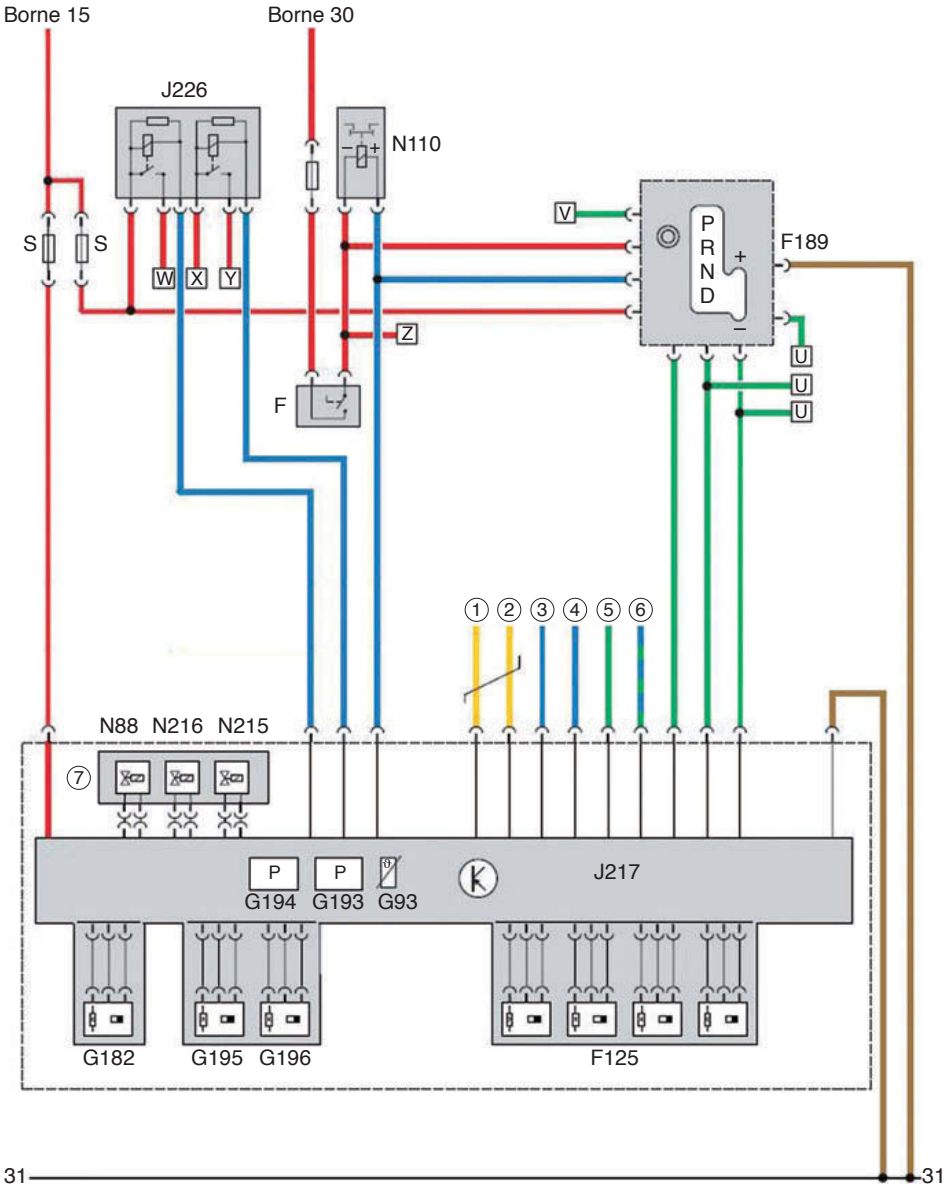
Mecánicamente, el variador necesita de mecanismos para complementar las funciones que tiene que realizar en el vehículo:

- El acoplamiento con el motor se realiza con convertidores de par o embragues de discos bañados en aceite.
- La marcha atrás se consigue a través de un tren epicicloidal y un freno de discos.
- La gestión del variador es electrónica, por medio de una centralita y de sensores (el variador utiliza los mismos sensores que puede emplear un cambio automático, posición de la palanca selectora, posición del acelerador, régimen del motor, *kick-down*, etc).
- Mecanismo de enclavamiento en posición de Parking «P».
- La unidad de control hidráulica recibe las señales de la centralita, genera la presión y comanda las válvulas que desplazan las poleas de cuello variable.

ACTIVIDADES

6. Busca vehículos que equipen un cambio automático por variador. Realiza un esquema de los circuitos y analiza las particularidades de su diseño y funcionamiento.

Esquema de funciones del cambio CVT



↑ **Figura 4.60.** Esquema de funciones del cambio Multitronic (fuente Audi).

Componentes

F Conmutador de luz de freno. F125 Conmutador multifunción. F189 Conmutador para tiptronic. G93 Transmisor de temperatura del aceite de transmisión. G182 Transmisor de régimen de entrada al cambio. G193 Transmisor -1- para presión hidráulica, cambio automático (presión de embrague). G194 Transmisor -2- para presión hidráulica, cambio automático (presión de apriete). G195 Transmisor de régimen de salida del cambio. G196 Transmisor -2- de régimen de salida del cambio. N88 Electroválvula 1 (refrigeración embragues / desactivación de seguridad). N110 Electroimán para bloqueo de la palanca selectora. N215 Válvula reguladora de presión -1- para cambio automático (regulación de embrague). N216 Válvula reguladora de presión -2- para cambio automático (regulación de relación de transmisión). J217 Unidad de control para multitronic. J226 Relé para bloqueo de arranque y luz de marcha atrás. S Fusibles.

8. Cambio automatizado

saber más

Cambios automatizados empleados por los fabricantes.

Opel (Easytronic)

BMW (Dualogic)

Lancia (DFN)

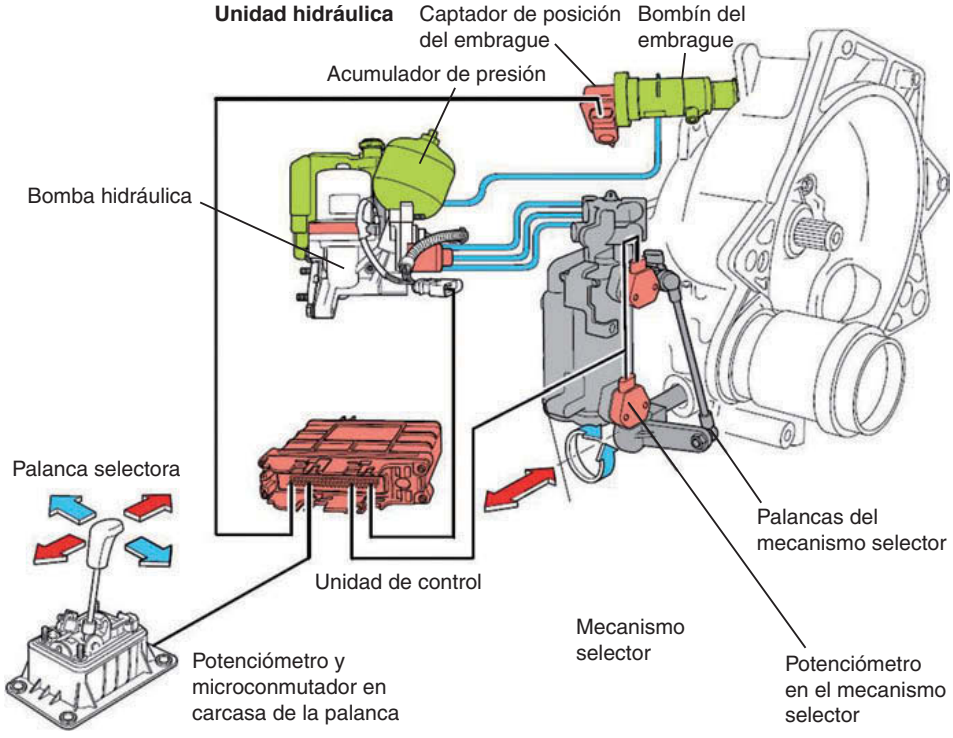
Alfa Romeo (Selespeed)

Grupo VAG (DSG)

Los cambios automatizados o robotizados funcionan de forma similar al cambio automático, el vehículo no dispone de pedal de embrague y el cambio de velocidades se realiza de forma automática según la posición de la palanca selectora y la cartografía de la electrónica del cambio. La constitución básica del conjunto del cambio automatizado es similar al cambio manual, emplean embragues de fricción con accionamiento hidráulico o eléctrico controlado desde el módulo de gestión. La caja de cambios dispone de los ejes primario y secundario con ruedas dentadas, carretes desplazables, sincronizadores y horquillas como los cambios manuales normales. El cambio automatizado dispone adicionalmente de un conjunto electrohidráulico o mecanismo selector para realizar el desplazamiento de las horquillas y engranar las velocidades de forma automática.

El cambio automatizado dispone de los siguientes componentes (figura 4.61):

- Bombín de accionamiento del embrague y captador de posición del embrague.
- Unidad hidráulica con la bomba de presión, motor eléctrico, acumulador de presión, electroválvulas, sensores de presión, etc.
- Mecanismo selector de velocidades, con sus émbolos de accionamiento y los captadores o potenciómetros.
- Módulo de gestión, conectado con la red CAN BUS.
- Palanca selectora y sus captadores de posición.



↑ **Figura 4.61.** Componentes de un cambio automatizado (fuente Volkswagen).

Para cambiar de velocidad el módulo de gestión acciona el bombín del embrague y corta la transmisión del par, no cambia con carga como los cambios automáticos con convertidor de par. El único cambio automatizado que cambia sin interrupción es el cambio automatizado DSG.

Cambio automatizado DSG (Direkt Schaltgetiebe)

El cambio DSG es un cambio automatizado que se ha desarrollado partiendo de un cambio manual sincronizado de engranajes helicoidales y seis velocidades.

El cambio dispone de dos embragues (multidisco bañados en aceite o monodisco en seco según modelos), que sustituyen al convertidor de par. Los embragues transmiten el par a los ejes primarios, que se encuentran insertados uno dentro de otro (figura 4.62). El embrague exterior K1 acciona el eje primario de las marchas impares 1ª, 3ª, 5ª y M.A., y el embrague interior K2 acciona las marchas pares: 2ª, 4ª y 6ª. Un tercer árbol insertado dentro del primario interior mueve la bomba de aceite del conjunto del cambio.

También dispone de dos ejes secundarios, los piñones de cada eje secundario engranan y forman las relaciones de transmisión con un eje primario, pero la salida la realizan sobre el mismo engranaje del grupo diferencial. Los piñones de los ejes secundarios giran locos y se fijan al eje cuando se desplaza el carrete del sincronizador, igual que en las cajas de cambios manuales.

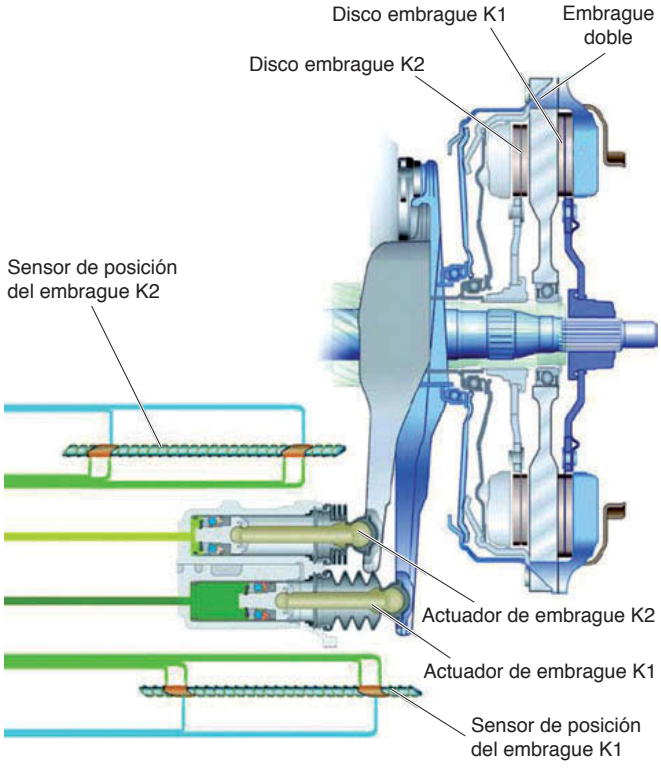
El cambio elimina la transmisión mecánica de la palanca de cambios hasta las horquillas, para desplazar los carretes de los sincronizadores, el desplazamiento de las horquillas se realiza de forma automática empleando émbolos hidráulicos (figura 4.63) y una gestión electrónica.

caso práctico inicial

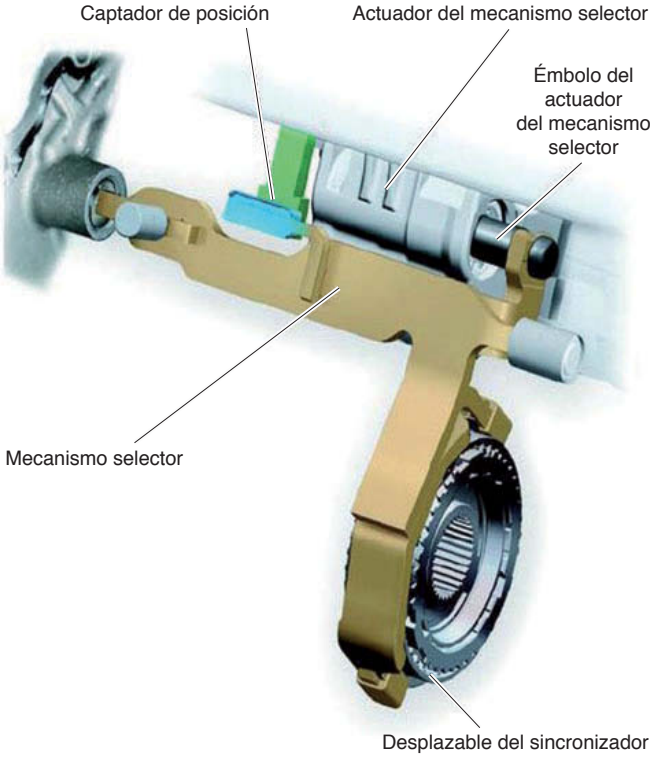
El cambio automático del A4 tipo S-tronic es un cambio automatizado con dos embragues bañados en aceite.

saber más

La última versión del cambio DSG dispone de dos embragues de fricción monodisco en seco.



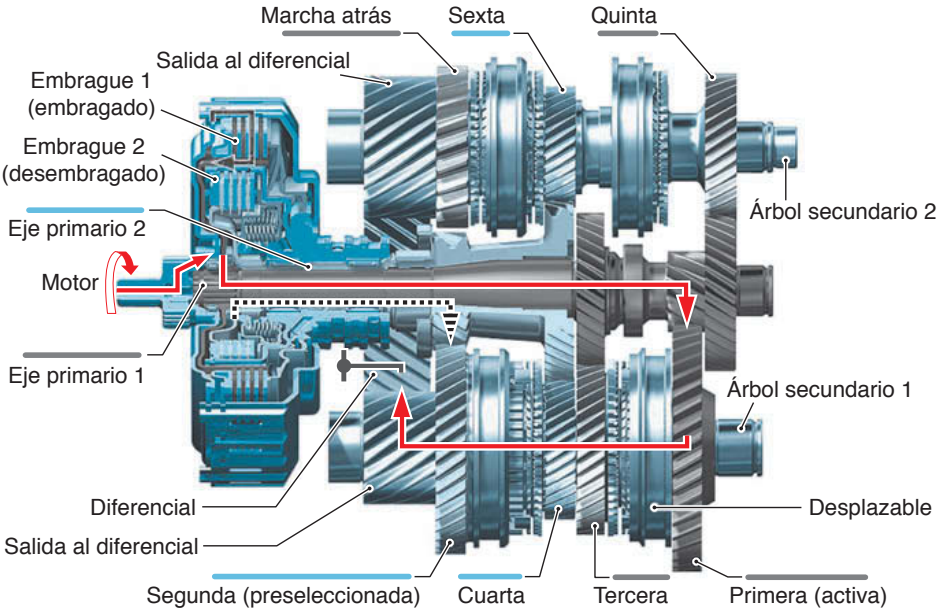
↑ **Figura 4.62.** Embrague bidisco y sensores de posición.



↑ **Figura 4.63.** Mecanismo de desplazamiento de la horquilla.

El circuito hidráulico de la caja es similar a la empleada en los cambios automáticos, una bomba de piñones genera el caudal necesario para el accionamiento y lubricación del cambio, el cambio nuevo cambio DSG dispone de un motor eléctrico que mueve la bomba y un acumulador de presión que evita que la bomba trabaje de forma continua.

La gestión hidráulica y electrónica se realiza desde un control inteligente Mecatronic «J743» que se integra en la caja y realiza ambas gestiones. Desplaza las horquillas para enclavar las velocidades en el momento oportuno y controlar a su vez el acoplamiento de un embrague y el desacoplamiento del otro (figura 4.64).



↑ **Figura 4.64.** Funcionamiento del cambio automático DSG en primera y segunda velocidades.

Funcionamiento del cambio automatizado DSG

saber más

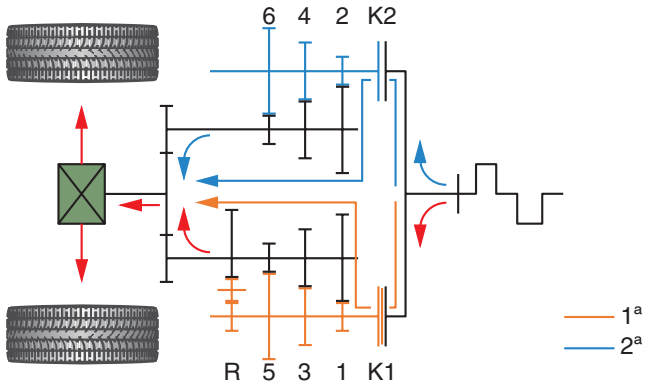
Ford dispone de un cambio automatizado con doble embrague similar al cambio DSG denominado Powershift, el cambio realiza la selección de velocidades sin interrupción de fuerza del motor, mejorando el funcionamiento de los cambios automatizados de un solo embrague.

La caja, al tener dos ejes secundarios engranados a los piñones de los ejes primarios y dos embragues, resulta un conjunto similar al de dos cajas de cambios en un solo bloque; es esta particularidad en la que se basan los principios de funcionamiento del cambio automático DSG.

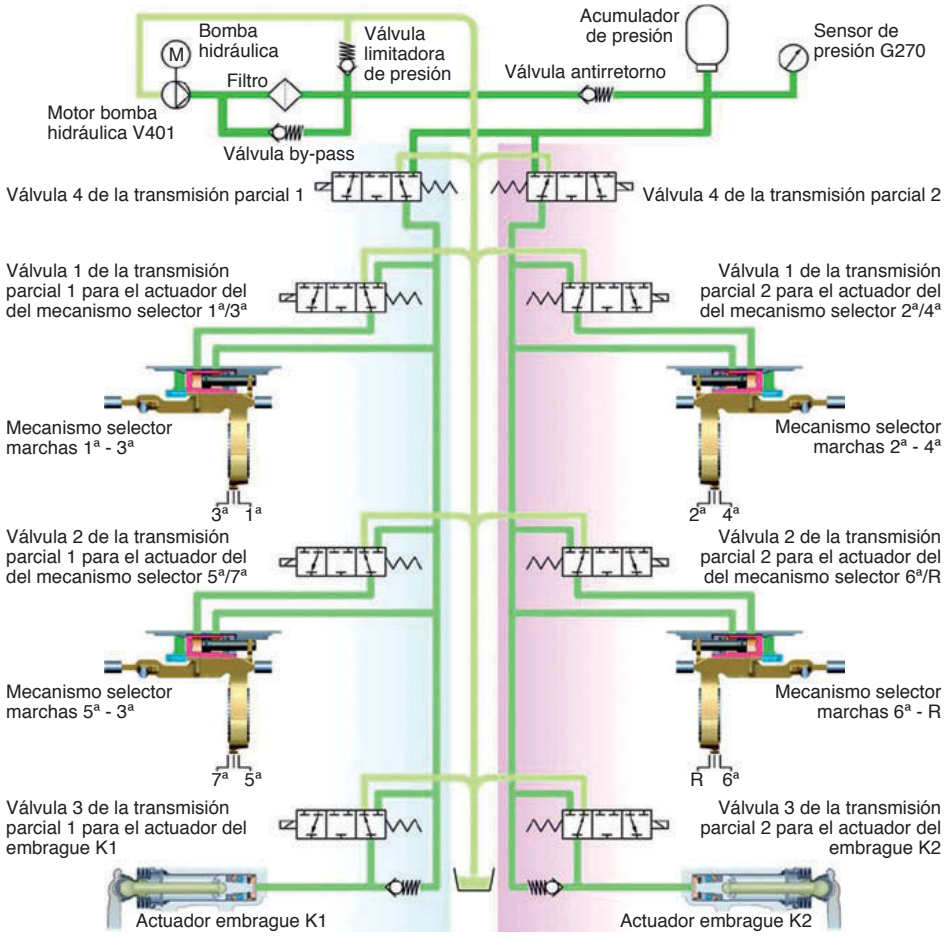
La caja siempre tiene enclavadas dos velocidades, una de cada tren, 1ª y 2ª o 2ª y 3ª, y un solo embrague conectado. El funcionamiento del conjunto es automático, al seleccionar una posición en la palanca selectora. D se utilizará para cambios suaves y bajo consumo; S para cambios deportivos o Tiptronic; el módulo de control Mecatronic analiza los parámetros de funcionamiento y decide el momento oportuno para realizar los cambios de velocidad.

Los cambios se realizan actuando sobre los émbolos que desplazan las horquillas de selección de velocidades y acoplando un embrague y desacoplando el otro; por ejemplo, el cambio de primera a segunda velocidad se realizaría del siguiente modo (figura 4.65):

- Embrague 1º (k1), acoplado y transmitiendo a su primario, velocidades primera, tercera y quinta y MA. El carrete del sincronizador del eje secundario se encuentra anclando al piñón de la primera. En el segundo secundario se encuentra anclada la segunda velocidad y el embrague (k2) desactivado. El par se transmite por el embrague (k1) y el secundario de la primera velocidad.
- Cambio a segunda velocidad. El módulo Mechatronik activa la válvula de paso de aceite que comanda el embrague (k2) y desactiva la válvula del embrague (k1). El par se trasmite por el segundo secundario, y el módulo comanda nuevamente los émbolos de desplazamiento de la tercera velocidad que se quedará anclada para el posterior cambio si el motor sube de revoluciones por minuto.



↑ **Figura 4.65.** Esquema de las velocidades del cambio DSG.



↑ **Figura 4.66.** Esquema hidráulico del cambio DSG de 7 velocidades (fuente SEAT).

recuerda

El cambio automatizado dispone de sistemas de seguridad similares al cambio automático, sistema de bloqueo de la llave, electroimán de la palanca selectora y rueda de bloqueo en posición de parking «P».

El cambio automatizado también dispone de función + - (Tiptronic.)

ACTIVIDADES

7. Busca un manual de reparaciones de un vehículo que equipe un cambio DSG o similar y realiza un esquema o croquis con los sensores de que dispone.

8. Realiza un cuadro de averías de un cambio DSG, recuerda que es una caja de cambios evolucionada de una manual.

9. Lubricación de las cajas de cambios

Nivel de calidad ATF 3 Repsol
DEXRON III G.
MAN 339 Type Z-1 y V-1
MB 236.1
ZF TE-ML 02F, 03D, 04D, 11B, 14A, 17C
VOITH 556335 (ex G-607)
FORD MERCON
ALLISON C-4
VOLVO 97341

↑ **Tabla 4.3.** Homologaciones ATF 3.

Los cambios automáticos disponen de elementos mecánicos y circuitos hidráulicos de mando muy precisos, estos cambios exigen una lubricación especial y emplean aceites denominados ATF (Automatic Transmission Fluid).

El aceite ATF empleado en las cajas automáticas, realiza las siguientes funciones:

- Transmitir hidráulicamente el par en el convertidor.
- Actuar como fluido en el circuito hidráulico de control y gestión del cambio.
- Lubricar los rodamientos, trenes epicicloidales, frenos y discos.
- Refrigerar y mantener una temperatura de trabajo en toda la caja.

El fabricante del vehículo especifica el tipo de aceite ATF que se debe emplear en el cambio y los periodos de cambio. Los fabricantes de aceites también indican el nivel de calidad, las homologaciones del aceite con los fabricantes de cambios y las características técnicas de su aceite (tablas 4.3 y 4.4).

	Unidad	Método	Valor
Color		Visual	Rojo
Densidad a 15°	g/cm^3	ASTM D 4052	0,8630
Viscosidad a 100°	cSt	ASTM D 445	7,65
Viscosidad a 40°	cSt	ASTM D 445	36
Viscosidad a –40°	cP	ASTM D 2983	20.000 max
Índice de viscosidad	–	ASTM D 2270	215
Punto de inflamación	°C	ASTM D 92	100 mínimo
Punto de congelación	°C	ASTM D 97	–42 máximo

↑ **Tabla 4.4.** Características técnicas del aceite ATF 3 de Repsol.

Las cajas de cambios automáticas que incorporan en el mismo conjunto el diferencial y el grupo cónico (vehículos con tracción delantera), emplean dos aceites: ATF para el cambio automático y aceite de transmisiones SAE 75W90 para el grupo reductor y diferencial.

Los cambios automatizados disponen de dos circuitos de aceite: ATF para los circuitos hidráulicos de mando y aceite de transmisiones de cambios manuales SAE (indicado por el fabricante).

Los cambios con variador disponen de dos circuitos de aceite, emplean aceite especial ATF para el circuito hidráulico del variador y aceite de transmisiones de cambios manuales.

El empleo de aceites ATF inadecuados o la falta de nivel es la causa de muchas de las averías del cambio automático, tirones, acoplamientos bruscos, etc.

La manipulación del aceite se debe realizar manteniendo unas precauciones mínimas que eviten el contacto prolongado con la piel. Es necesario emplear guantes, visores o gafas para evitar salpicaduras.

Es obligatorio reciblar el aceite, se debe depositar en recipientes estancos que recogen posteriormente los gestores autorizados.

saber más

Peligros para la salud y seguridad con aceites

Inhalación: por ser un producto poco volátil, el riesgo por inhalación es mínimo.

Ingestión: no provocar el vómito. Suministrar agua. Solicitar ayuda médica.

Contacto piel: lavar con abundante agua y jabón.

Ojos: lavar con abundante agua.

Medidas generales: solicitar ayuda médica.

10. Mantenimiento del cambio automático

Una de las ventajas de las cajas de cambios automáticas es que tienen un bajo mantenimiento. Este se limita solamente a la sustitución del aceite en los periodos recomendados por el fabricante, generalmente cada dos años, comprobar el nivel y la sustitución del filtro del aceite ATF (figura 4.67).

El nivel del aceite se verifica con el motor en marcha y la varilla selectora en la posición «P».

En muchos modelos el cambio dispone de un tapón de llenado y comprobación del nivel, que impide llenar el cambio con más aceite del recomendado. Para comprobar el nivel se quita el tornillo de nivel, si el cambio tiene más aceite rebosará por el tubo de vaciado (figura 4.68).

↑ **Figura 4.67.** Filtro de aceite ATF.

11. Verificación de las cajas de cambios automáticas

La verificación del estado de las cajas de cambio automáticas se realiza empleando los equipos de diagnóstico específicos del fabricante o equipos de diagnosis universales tipo Bertón o KTS.

Los equipos de diagnosis se conectan al vehículo a través del conector que dispongan, conector universal «OBD» y los más antiguos con los conectores específicos de la marca (figura 4.69).

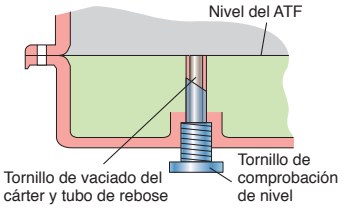
El equipo de diagnosis realiza las siguientes funciones:

- **Identificación** (nº identificativo de la unidad de control).
- **Memoria de averías** (localiza las averías memorizadas en la unidad de control).
- **Borrar memoria de averías** (permite borrar las averías memorizadas).
- **Valores reales** (comprueba el componente midiendo valor real).
- **Prueba de actuadores** (se puede comprobar el funcionamiento del componente).
- **Ajuste básico** (se realiza para reconocer las unidades y componentes especiales).

Si el equipo de diagnosis comunica con la unidad de control del cambio se pueden realizar todas las funciones del equipo y diagnosticar perfectamente el estado de la caja de cambios.

En los cambios antiguos que no dispongan de módulo de gestión y en los cambios que no se pueda comunicar con la unidad de control, se puede actuar siguiendo estas indicaciones:

- Verificar el correcto funcionamiento del motor.
- Verificar el nivel del líquido. La falta o el exceso de líquido provoca anomalías en el funcionamiento.
- Ajuste de la palanca selectora. El desplazamiento debe ser normal y según las cotas del fabricante.
- Verificación de los puntos de cambio de velocidades.



↑ **Figura 4.68.** Tornillo de comprobación de nivel.

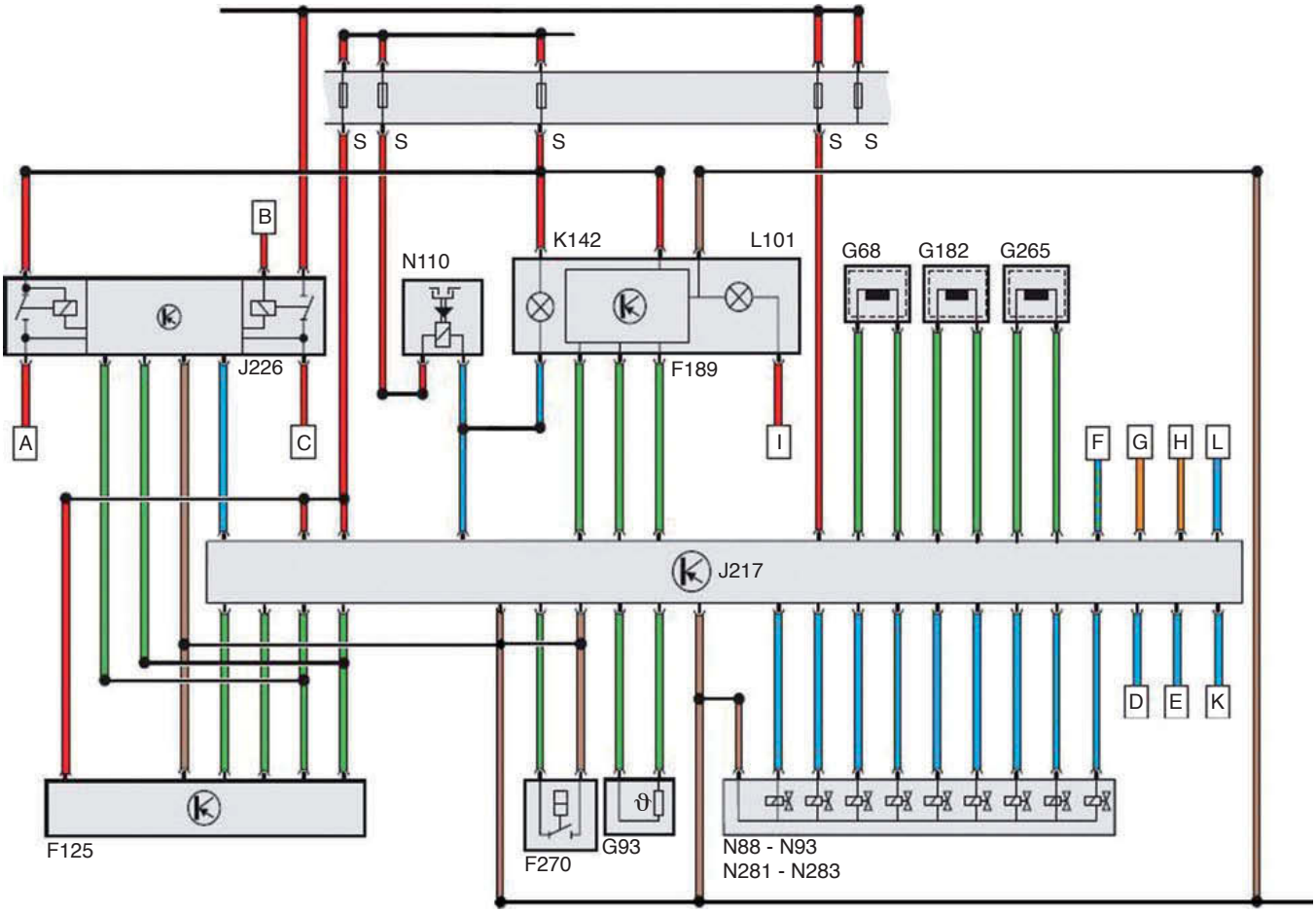
↑ **Figura 4.69.** Conexión del KTS al conector BMW antiguo.

recuerda

Al cambiar una unidad de control es necesario realizar el ajuste básico del componente.

11.1. Comprobaciones eléctricas-electrónicas

Con ayuda del osciloscopio o un polímetro se pueden realizar las comprobaciones en el módulo elecgtrónico de los captadores, actuadores, tensiones que recibe de la batería y masas, partiendo del esquema eléctrico del circuito del cambio (figura 4.70) y de los valores de cada componente que el fabricante proporciona.



↑ **Figura 4.70.** Esquema de componentes de un cambio automático.

Componentes

F125 Conmutador multifunción. F189 Conmutador para Tiptronic. F270 Conmutador de presión de freno.

G68 Transmisor de velocidad de marcha. G182 Transmisor de régimen de entrada al cambio. G265 Transmisor de régimen del árbol intermediario. J217 Unidad de control para cambio automático. J226 Relé para bloqueo de arranque y luz de marcha atrás. K142 Testigo luminoso para posiciones P/N de la palanca selectora. L101 Iluminación de la escala para palanca selectora.

N88 -N93 Electroválvulas. N110 Electroimán para bloqueo de la palanca selectora. N281-N283 Electroválvulas. S Fusible.

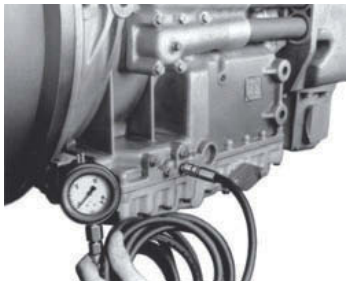
Otras señales

A hacia las luces de marcha atrás. B hacia la cerradura de contacto. C hacia el motor de arranque. BNE 50 D Señal de velocidad de marcha. E Señal de velocidad de marcha. F Autodiagnóstico. G CAN – high. H CAN - low.

11.2. Comprobaciones hidráulicas

Las comprobaciones hidráulicas consisten en la comprobación del buen funcionamiento de la bomba y de las válvulas reguladoras de presión y de todo el circuito hidráulico del cambio.

Las distintas presiones serán comprobadas con un manómetro que se rosca en las tomas de presión de que dispone la caja (figura 4.71).



↑ **Figura 4.71.** Comprobación de las presiones de un cambio ZF eco-man.

RPM	Posición de la palanca selectora	Presión en bares
Ralenti	D	3,4 a 3,8
Ralenti	R	5 a 6
2.000	D	12,4 a 13,2
2.000	R	23 a 24

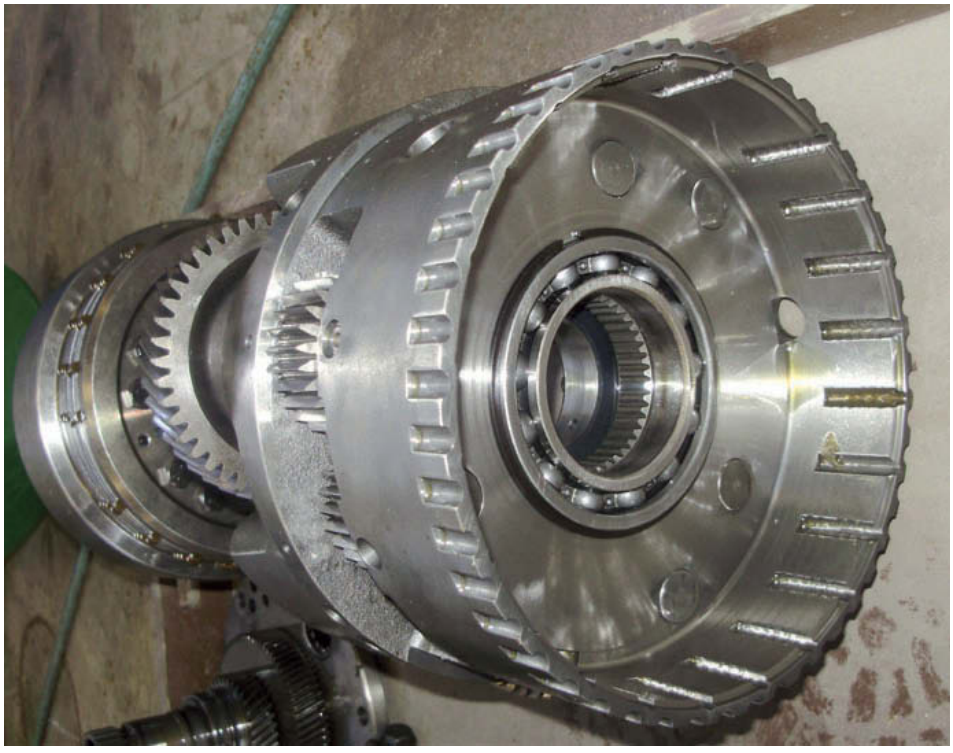
↑ **Tabla 4.5.** Valores de la presión principal. Cambio «01M» del Seat León.

11.3. Comprobaciones mecánicas

Las comprobaciones de la parte mecánica de la caja de cambios se realizan cuando está desmontada. Las principales son las siguientes:

- Rodamientos y retenes.
- Trenes epicicloidales y ruedas libres.
- Frenos y embragues (discos y juntas).
- Roturas de piezas (ejes, trinquetes, piñones, etc.).

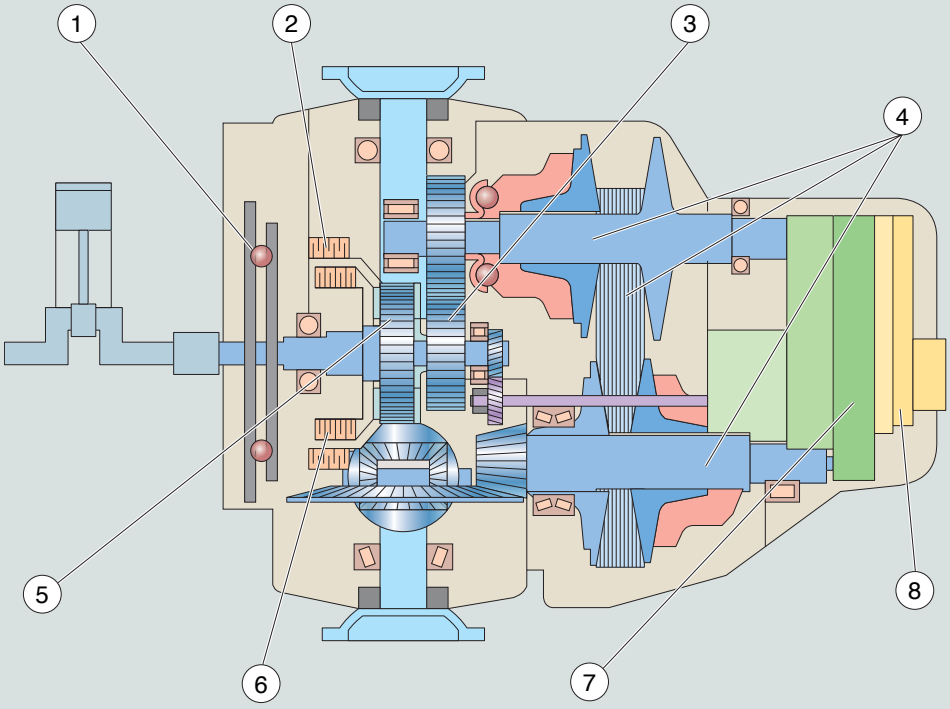
Si la caja dispone de grupo cónico y diferencial, las verificaciones se realizarán como si se tratase de grupo normal.



↑ **Figura 4.72.** Componentes mecánicos de un cambio automático.

ACTIVIDADES FINALES

1. En los cambios automáticos se combinan tres circuitos: electrónicos, hidráulicos y mecánicos. Explica qué misión realiza cada circuito y la interrelación entre ellos.
2. Explica qué es el cruce de velocidades de un cambio automático. Dibuja los elementos de mando que intervienen y por qué se realiza el citado cruce.
3. ¿En qué consiste la caja de válvulas? ¿Qué elementos la componen?
4. Representa un tren epicicloidal simple y señala cada uno de los elementos de que consta.
5. Explica la misión de los frenos y los embragues en las cajas de cambios y cita los tipos de frenos que se emplean.
6. Explica los dispositivos de seguridad empleados en los cambios automáticos.
7. Explica el funcionamiento del cambio con variador tipo CVT.
8. Explica el funcionamiento de un cambio automatizado.
9. Explica cómo funciona un cambio automatizado con dos embragues tipo DSG.
10. Nombra en tu cuaderno los componentes del cambio con variador de la figura siguiente.



↑ **Figura 4.73.**

EVALÚA TUS CONOCIMIENTOS

Resuelve en tu cuaderno o bloc de notas

1. ¿Qué ventajas ofrecen los trenes epicicloidales?

a. Que son económicos y fáciles de construir.

b. Que permiten realizar una sola relación de transmisión.

c. Que no son capaces de invertir el sentido de giro de transmisión.

d. Que no es necesario interrumpir la salida de fuerza del motor para realizar el cambio de velocidad.

2. Un tren epicicloidal simple, consta de:

a. Dos coronas, un planetario y dos satélites.

b. Una corona, tres satélites y un planetario.

c. Un buje, dos planetarios y tres satélites.

d. Un satélite, una corona y un planetario.

3. Para que un tren epicicloidal realice una relación 1:1, ¿qué elementos se deben bloquear?

a. Los satélites.

b. El planetario y el freno de discos.

a. La corona con su eje.

b. Dos componentes entre sí del tren.

4. ¿De cuántas velocidades consta el cambio automático DSG?

a. De cinco velocidades y marcha atrás.

b. De cuatro velocidades y marcha atrás.

c. De seis o siete velocidades y marcha atrás.

d. De tres velocidades y marcha atrás.

5. ¿Cómo se desbloquea la palanca selectora del cambio automático?

a. Pisando el pedal del acelerador.

b. Arrancando el motor.

c. Soltando el freno de estacionamiento.

d. Pisando el pedal del freno.

6. ¿Cuál es el incoveniente que se le achaca a los frenos de cinta?

a. Que resbalan frecuentemente.

b. Que son muy caros en su fabricación.

c. Que provocan esfuerzos radiales sobre la carcasa del cambio.

d. Que ocupan gran espacio y son muy complejos.

7. ¿Cual es la posición de la palanca de cambios que indica aparcamiento en un cambio automático?

a. La posición S.

b. La posición D.

c. La posición N.

d. La posición P.

8. ¿Qué válvulas transforman las señales del módulo electrónico, en presiones de mando para los frenos y embragues?

a. Las válvulas de regulación de presión.

b. Las válvulas de control.

c. Las válvulas de mando.

d. Las válvulas limitadoras.

9. ¿Entre qué relaciones de transmisión es capaz de transformar un variador?

a. Entre 0,5:1 y 6:1

b. Entre 2:1 y 4:1

c. Entre 0,1: y 1:1

d. Entre 3:1 y 7:1

10. ¿Qué tipo de aceite se emplea en las cajas de cambios automáticas?

a. Aceite SAE 75W90

b. Aceite tipo ATF.

c. Aceite SAE multigrado.

d. Emplean el mismo aceite que el motor.

PRÁCTICA **PROFESIONAL**

HERRAMIENTAS

- Herramientas manuales del taller de electromecánica

MATERIAL

- Manual de reparaciones del cambio AG4
- Vehículo equipado con cambio automático AG4

Ajustar el captador multifunción F 125 con la palanca selectora

OBJETIVO

Conocer el proceso para ajustar el captador multifunción F 125 de la palanca selectora de un cambio automático AG4.

PRECAUCIONES

Colocar el vehículo en un elevador y tener la precaución de colocar bien las garras en los puntos de elevación del coche.

DESARROLLO

1. Elevar el vehículo y quitar el cubre cárter inferior para tener acceso al captador multifunción. El captador multifunción se encuentra conectado con un cable «bowden» a la palanca selectora, los desplazamientos de la palanca selectora se transmiten al captador, el cual informa al módulo electrónico de la posición de la palanca selectora, P N R1 2 3 D (véase la figura 4.74). Un mal reglaje del captador impide el correcto funcionamiento del cambio automático.
2. El reglaje del captador se realiza con la palanca selectora en posición de punto muerto «N». En esta posición, el taladro de la palanca de accionamiento metálica del captador debe coincidir con el orificio del captador (véase la figura 4.75).

↑ **Figura 4.74.** Palanca selectora.

↑ **Figura 4.75.** Captador de la posición de la palanca F 125.

3. Mediante una broca de 4 mm (véase la figura 4.76), se comprueba que el cable desde la palanca selectora al captador se encuentra bien ajustado, si fuese necesario regular el captador, se puede desplazar, aflojando los tornillos de fijación y moviéndolo en su corredera.

↑ **Figura 4.76.** Comprobando el ajuste con la broca de 4 mm.

Leer la memoria de averías de un cambio automático empleando un equipo de diagnosis universal

HERRAMIENTAS
- Equipo de diagnosis

MATERIAL
- Vehículo o maqueta con cambio automático

OBJETIVO

Conocer el proceso para leer la memoria de averías de un cambio automático y borrarlas de la memoria.

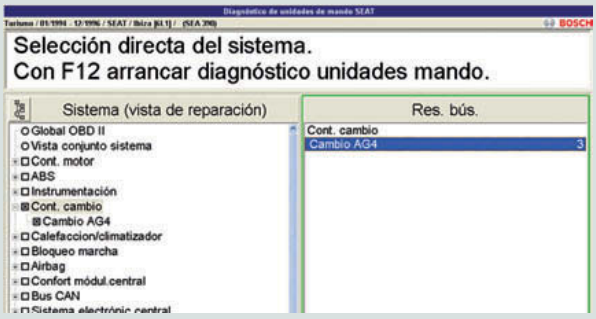
PRECAUCIONES

El vehículo debe tener la batería cargada.

DESARROLLO

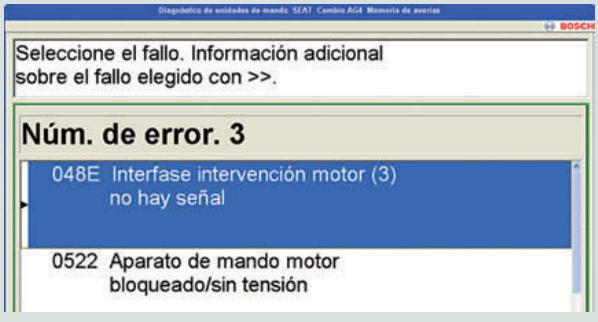
1. Conectar el equipo de diagnosis al conector OBD del vehículo (figura 4.77).
2. Abrir el programa de diagnosis en el ordenador y seleccionar el modelo (marca, tipo motor, cambio, año fabricación, etc.) y arrancar el diagnóstico de unidades seleccionadas, en nuestro caso el cambio automático AG4, que tiene tres averías (figura 4.78).

↑ **Figura 4.77.** Conectar el equipo de diagnosis.

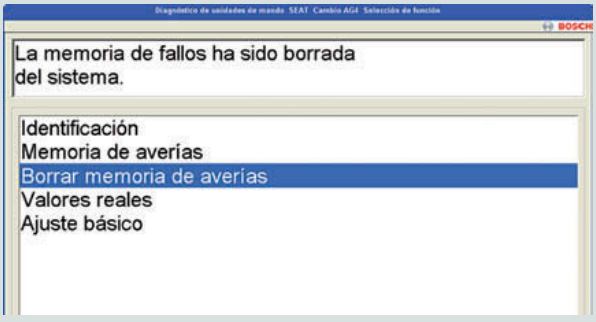


↑ **Figura 4.78.** Diagnosticar el cambio AG4.

3. Identificar las averías que tiene memorizadas el módulo, siguiendo con F12.
4. Las averías memorizadas 048E y 0522, son debidas a una baja tensión en la batería y por falta de corriente de alimentación del módulo del cambio (desconexión de la batería o desconexión del conector) (figura 4.79).
5. Borrar las averías memorizadas, el vehículo tiene la batería cargada y las averías se pueden borrar sin problemas (figura 4.80).



↑ **Figura 4.79.** Identificación de las averías.



↑ **Figura 4.80.** Borrar la memoria de averías.

MUNDO **TÉCNICO**

Sistema de transmisión automática de 8 velocidades de ZF

ZF ha desarrollado una nueva transmisión automática para automóviles con ocho velocidades que puede ahorrar hasta un 11% de combustible. La prioridad durante el desarrollo no fue lograr la máxima cantidad de marchas, sino el mínimo consumo.

Ahorro de combustible y reducción de las emisiones de CO_2

Se han introducido varias innovaciones en la nueva transmisión 8HP para reducir el consumo de combustible: el concepto de transmisión completamente nuevo, con cuatro engranajes y solo dos elementos de cambio abiertos, un radio general de multiplicación o cambio netamente superior, una bomba de aceite variable, un conversor de torque nuevo y controles hidráulico y de transmisión optimizados. También presenta la función opcional de detención/encendido que detiene automáticamente el motor cuando el vehículo se detiene y lo vuelve a encender cuando se libera el freno.

Esta función es posible gracias al depósito de aceite hidráulico (HIS). Este depósito abastece el aceite hidráulico que los elementos de la transmisión necesitan para el encendido. Cuando se apaga el motor, el depósito permite un encendido inmediato, como lo requiere la función de detención/encendido. Apenas 350 milisegundos después de encender el motor, el vehículo está listo para partir. Con la función encender/detener del depósito de aceite hidráulico es posible reducir el consumo de combustible en casi un 5% adicional. En comparación con la transmisión automática de 6 velocidades ZF más eficiente del mundo, la nueva transmisión automática de 8 velocidades ahorra un 11% más.

Mayor velocidad de aceleración

Además de su efecto positivo en el consumo de combustible, el radio general de multiplicación mejora los valores de aceleración del producto ZF. Los pasos de engranaje más cortos, en particular, entre el primero y el segundo, integran los vehículos perfectamente con la mayor velocidad de aceleración 8HP y mejoran la calidad del cambio de velocidades en los cambios más bajos.

Precisión en el cambio de velocidades

200 milisegundos es lo que demora la transmisión automática de 8 velocidades 8HP para cambiar de velocidad con rapidez y suavidad. Ningún conductor profesional puede cambiar de marcha tan rápidamente. Esto hace que el cambio de velocidades combine extraordinariamente el placer de conducir con la eficiencia y el máximo confort. También es posible el salto directo sobre dos o más cambios, además del rebaje extremo entre octava y segunda marcha. Además de estas estrategias de adaptación inteligente, la máxima agilidad y la diversión de conducir quedan garantizadas.

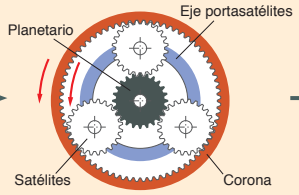
EN **RESUMEN**

CAJAS DE CAMBIOS

- **Manuales** → Selección manual de las velocidades
- **Semiautomáticas** → Las velocidades se seleccionan de manera manual sin pisar el embrague de forma automática
- **Automáticas** → Las velocidades se seleccionan de forma automática

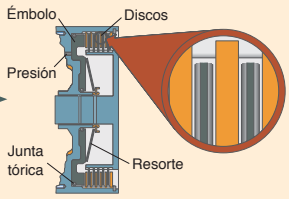
AUTOMÁTICAS

- **Trenes epicicloidales**



→ Las relaciones de transmisión se producen en los trenes epicicloidales, accionando uno y frenando otro; la salida de giro se produce por el elemento libre

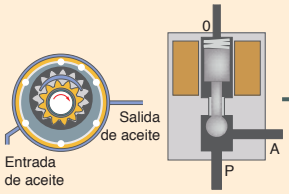
- **Frenos y embragues**



→ El bloqueo de los elementos de un tren se realiza con frenos de discos o cinta

La unión de elementos o ejes se realiza con embragues

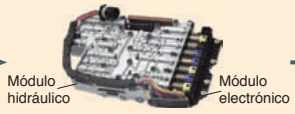
- **Bombas y electroválvulas**



→ La bomba genera el caudal de aceite necesario para lubricar el conjunto y accionar los frenos y embragues

Las electroválvulas comandan el accionamiento de los émbolos de los frenos y embragues

- **Sensores y módulo microprocesador**



→ Gestionan y procesan la información en el cambio

VARIADORES

→ Cambio automático de velocidad de modo continuo con la posibilidad de poder elegir diferentes relaciones de transmisión de forma manual

AUTOMATIZADAS Y DSG

→ Cambio automático con dos ejes secundarios y dos marchas engranadas al mismo tiempo que son accionadas por medio de horquillas y émbolos hidráulicos

entra en internet

1. En las páginas web de los fabricantes de vehículos y componentes encontrarás información detallada de los sistemas de transmisión que emplean sus vehículos.

5 Grupos reductores y diferenciales

vamos a conocer...

1. El grupo reductor
2. El diferencial
3. Mantenimiento del grupo y del diferencial
4. Diagnóstico de averías
5. Desmontaje, verificación y ajuste

PRÁCTICA **PROFESIONAL**

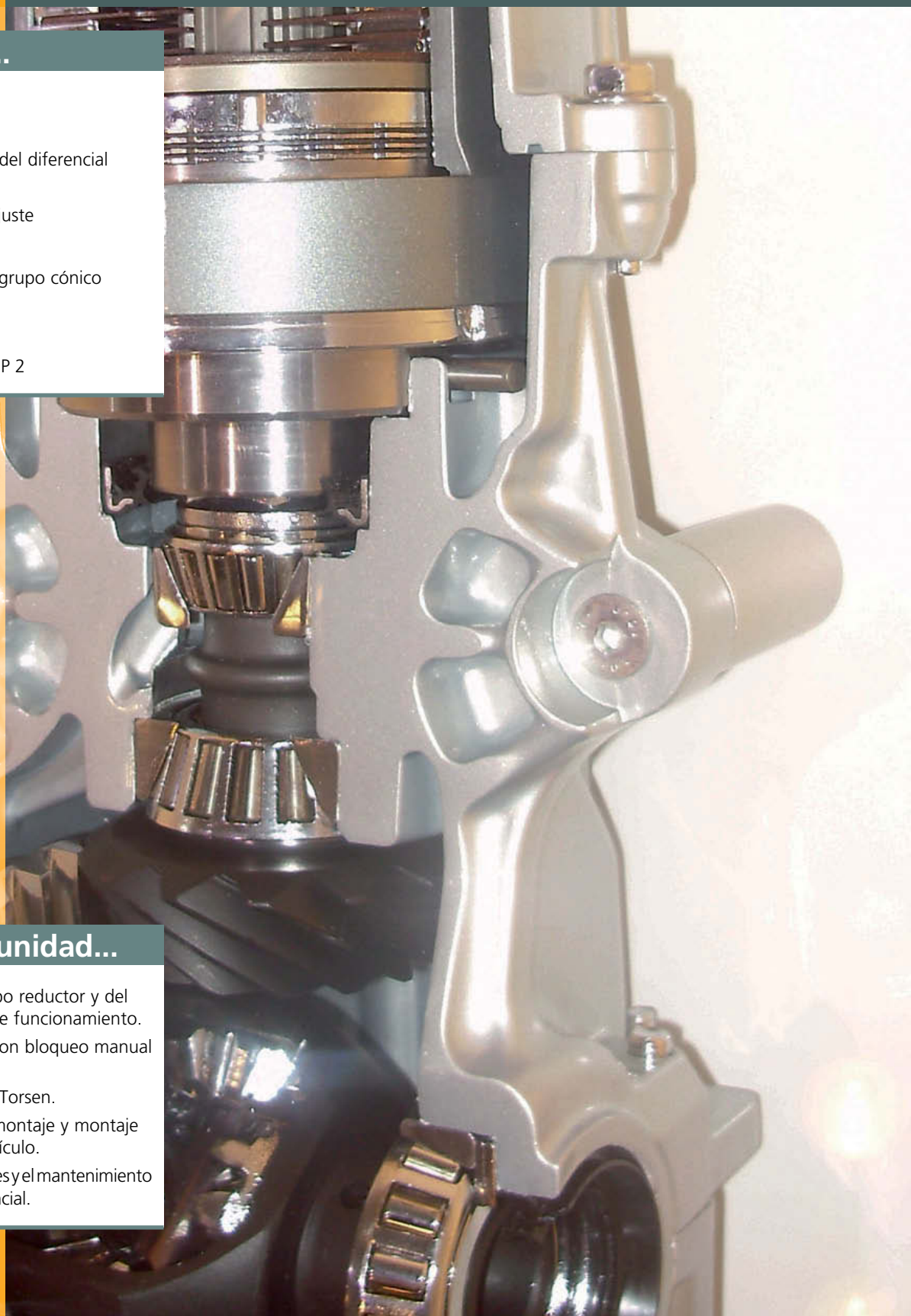
Desmontaje y reglaje de un grupo cónico de un puente trasero

MUNDO **TÉCNICO**

El diferencial en la fórmula GP 2

y al finalizar esta unidad...

- Conocerás la misión del grupo reductor y del diferencial, y sus principios de funcionamiento.
- Conocerás los diferenciales con bloqueo manual y autoblocantes.
- Estudiarás el diferencial tipo Torsen.
- Aprenderás a realizar el desmontaje y montaje del grupo reductor en el vehículo.
- Aprenderás a realizar los reglajes y el mantenimiento del grupo cónico y del diferencial.



CASO **PRÁCTICO** INICIAL

situación de partida

El grupo reductor y el diferencial forman el último mecanismo de la cadena cinemática de la transmisión y constituyen un conjunto mecánico que se sitúa en el eje motriz del vehículo: los vehículos con tracción delantera se encuentran formando parte de la caja de cambios, si la propulsión es trasera, el grupo cónico y diferencial se separan del cambio y forman el puente trasero.

El grupo cónico tiene la misión de recibir el giro que sale de la caja de cambios, las reducciones que se consiguen empleando la caja de cambios no son suficientes y es necesario volver a reducir las revoluciones de salida de la caja, 4:1 suele ser la relación aproximada de la mayoría de grupos. La reducción del grupo permite multiplicar el par de transmisión final en la misma proporción 4:1.

El diferencial gira solidario con la corona del grupo y tiene dos funciones principalmente: la primera es repartir el par a los dos semiárboles que mueven las ruedas, finalizando la cadena de transmisión, embrague, caja de cambios, grupo reductor, diferencial, semiárboles y ruedas. La segunda función consiste en compensar las diferencias de giro de las ruedas al tomar una curva.

El diferencial más empleado en los automóviles es el diferencial de giro libre sin bloqueo, en los vehículos agrícolas, camiones, furgonetas y prototipos de competición se emplean diferenciales con bloqueo manual y autobloqueantes.

↑ Grupo reductor y diferencial.

estudio del caso

Antes de empezar a leer esta unidad de trabajo, puedes contestar las dos primeras preguntas. Después, analiza cada punto del tema, con el objetivo de contestar al resto de las preguntas de este caso práctico.

1. ¿Cómo debería ser la caja de cambios de un vehículo que no dispone de grupo reductor?
2. ¿La corona y diferencial de la figura forma parte de una caja de cambios con tracción delantera o propulsión trasera?
3. ¿Qué inconvenientes tiene un diferencial de giro libre al circular por terrenos deslizantes?
4. ¿Qué misión realiza el bloqueo del diferencial?

1. El grupo reductor

En la mayoría de vehículos, las reducciones del par motor que se obtienen en la caja de cambios no son suficientes para optimizar al máximo la potencia del motor y el vehículo necesita una mayor reducción, que se consigue montando un grupo reductor.

Empleando las cinco o seis velocidades de la caja de cambios y la reducción del grupo, se consigue la relación de transmisión final que el vehículo necesita para circular por los distintos terrenos y subir pendientes.

La relación de transmisión del grupo aumenta el par desarrollado por el motor en la misma proporción, que se reduce el régimen de giro que sale del grupo.

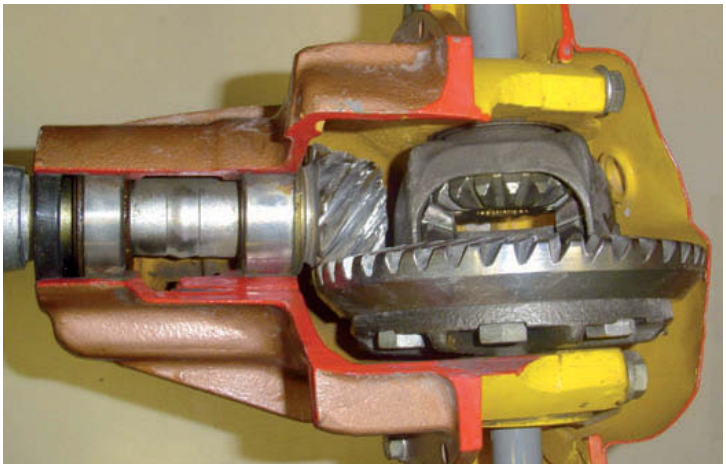
caso práctico inicial

La *Rt* de un grupo se calcula dividiendo el número de dientes de la corona entre el número de dientes del piñón de ataque.

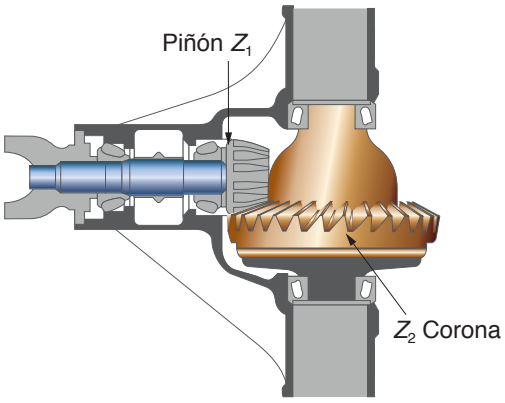
El grupo reductor está formado por dos ruedas dentadas de diferente tamaño engranadas entre sí. La menor se conoce como piñón y es la rueda conductora del grupo, Z_1. La mayor Z_2 es conocida como corona, se trata de la rueda conducida que transmite el movimiento al diferencial.

$$Rt_{gr} = \frac{\text{Nº de dientes del piñón conducido (Corona)}}{\text{Nº de dientes del piñón conductor (Piñón)}} = \frac{Z_2}{Z_1}$$

La relación de transmisión total del grupo reductor (Rt_{gr}) permite reducir por su valor las distintas velocidades del cambio, multiplicando en la misma proporción el par de transmisión.



↑ **Figura 5.1.** Grupo reductor y diferencial.



↑ **Figura 5.2.** Esquema del grupo reductor y diferencial.

Caja de cambios manual de cinco velocidades OAF y grupo, Audi A3					
Velocidad	Rt_{cambio}		Rt_{grupo}		$Rt_{cambio} \cdot Rt_{grupo} = Rt_{total}$
1ª	38/11	3,455/1	68/15	4,533/1	3,455 · 4,533 = 15,66 /1
2ª	43/22	1,955/1	68/15	4,533/1	1,955 · 4,533 = 8,86 /1
3ª	41/32	1,281/1	68/15	4,533/1	1,281 · 4,533 = 5,80 /1
4ª	39/40	0,975/1	68/15	4,533/1	0,975 · 4,533 = 4,41 /1
5ª	39/48	0,813/1	68/15	4,533/1	0,813 · 4,533 = 3,68 /1
MA	35/24 · 24/11	3,182/1	68/15	4,533/1	3,182 · 4,533 = 14,42 /1

↑ **Tabla 5.1.** Relación total de desmultiplicación entre cambio y grupo.

EJEMPLO

Calcula el número de dientes que debe tener el piñón del grupo reductor del cambio manual de cinco velocidades del Audi A3 del ejemplo anterior para conseguir una nueva relación de transmisión de 4/1 en el grupo.

Realiza la nueva tabla con las nuevas relaciones de transmisión de cada velocidad.

Solución:

$$Rt_{gr} = \frac{\text{Nº de dientes del piñón conducido (Corona)}}{\text{Nº de dientes del piñón conductor (Piñón)}}$$

Despejando de la fórmula $Rt_{gr} = \frac{Z_2}{Z_1}$; $\quad Z_1 = \frac{Z_2}{Rt_{gr}}$

Conociendo que la corona tiene 68 dientes.

$Z_2 = 68$ dientes

$Rt_{gr} = 4/1$

$Z_1 = \frac{Z_2}{Rt_{gr}} = \frac{68}{4} = 17$ El piñón debe tener 17 dientes.

Nuevas relaciones de transmisión de la caja de cambios manual de cinco velocidades OAF y grupo. Audi A3 con 17 dientes en el piñón del grupo reductor					
Velocidad	Rt_{cambio}		Rt_{grupo}		$Rt_{cambio} \cdot Rt_{grupo} = Rt_{total}$
1ª	38/11	3,455/1	68/17	4/1	3,45 · 4 = 13,8 /1
2ª	43/22	1,955/1	68/17	4/1	1,95 · 4 = 7,8 /1
3ª	41/32	1,281/1	68/17	4/1	1,28 · 4 = 5,1 /1
4ª	39/40	0,975/1	68/17	4/1	0,97 · 4 = 3,8 /1
5ª	39/48	0,813/1	68/17	4/1	0,81 · 4 = 3,2 /1
MA	35/24 · 24/11	3,182/1	68/17	4/1	3,18 · 4 = 12,72 /1

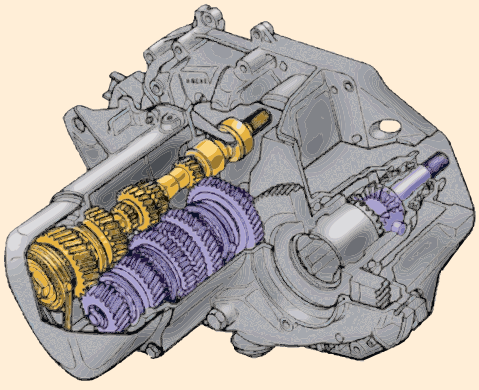
↑ **Tabla 5.2.**

ACTIVIDADES

1. Calcula en el conjunto mecánico de la figura, caja JB1-023 de Renault, la relación de desmultiplicación en cada una de las velocidades a la salida del grupo.

Velocidad	Nº de dientes conducido y conductor
1ª	41/11
2ª	43/21
3ª	37/28
4ª	29/30
5ª	31/39
MA	39/11
Grupo	58/15

↑ **Tabla 5.3.**



↑ **Figura 5.3.**

Tipos de grupos reductores

caso práctico inicial

Los grupos reductores empleados en los vehículos se eligen principalmente del tipo de tracción y de la posición del motor.

El grupo reductor y su relación de transmisión son elegidos en función del tipo de vehículo: automóvil, camión, motocicleta, etc. El grupo reductor se diseña teniendo en cuenta, principalmente, la posición del motor y la del eje motriz (tracción delantera o propulsión trasera).

Grupo reductor para automóviles

Los automóviles emplean dos tipos de grupos reductores:

- Piñón y corona helicoidal.
- Piñón cónico y corona circular de dentado cónico.

Piñón y rueda o corona helicoidal

Se emplean en la mayoría de automóviles de tracción delantera. La caja de cambios, el grupo reductor y el diferencial forman un conjunto, que permiten colocar el motor en posición transversal. Los ejes de entrada y salida de fuerza de todo el conjunto se encuentran paralelos entre sí.

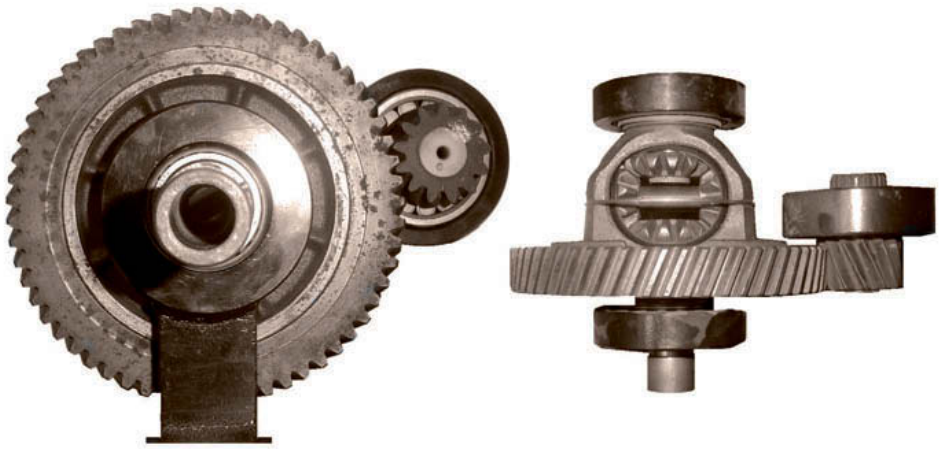
saber más

Piñones de grupos reductores

Existen dos tipos de dentados cónicos, el recto y el helicoidal.

El dentado recto se emplea en los piñones del diferencial, los satélites y planetarios.

El dentado cónico helicoidal se emplea en el piñón de ataque y en la corona del diferencial.



↑ **Figura 5.4.** Grupo reductor compuesto por piñón y corona helicoidal.

Piñón cónico y corona circular de dentado cónico

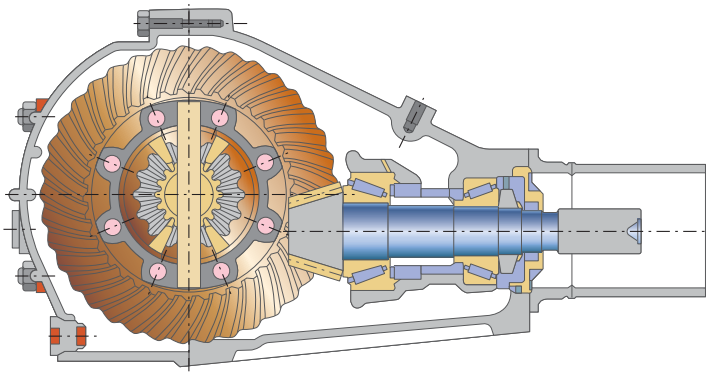
Este diseño se emplea en automóviles de motor longitudinal y propulsión trasera o tracción delantera. El conjunto piñón y corona se conoce como grupo cónico. Los grupos cónicos pueden ser de dentado recto o helicoidal. Las diferencias más significativas estriban en que el dentado helicoidal proporciona mayor superficie de ataque entre los dientes y el funcionamiento es más silencioso que en los dentados rectos.

Los grupos cónicos de tipo hipoide son muy apropiados para vehículos con carrocerías de piso bajo. Estos vehículos, al poder llevar el centro del eje de la corona del diferencial más alto que el del piñón, pueden tener el centro de gravedad más bajo, con lo que aumenta su estabilidad, y disponen de mayor espacio libre para los ocupantes de las plazas traseras.

El grupo cónico distribuye el giro de rotación entre ejes que se encuentran perpendiculares entre sí, de tal modo que la entrada y la salida de fuerza se encuentran a 90°.

En un vehículo 4x4, cuando el motor se dispone longitudinalmente, el empleo del grupo cónico es imprescindible para permitir la salida de fuerza a 90°, respecto a la entrada del eje delantero.

↑ **Figura 5.5.** Corona y piñón de ataque con rodamientos y casquillo.



↑ **Figura 5.6.** Grupo cónico de tipo hipoide.

Grupos cónicos para vehículos industriales

Los vehículos industriales de gran cilindrada emplean de manera generalizada el grupo cónico. El motor se monta, con respecto al bastidor, longitudinalmente y los ejes propulsores se colocan en la parte trasera. El árbol de transmisión une la salida de fuerza de la caja de cambios con el piñón del grupo cónico. El grupo cónico, el diferencial y los palieres forman un conjunto que se conoce como puente trasero.

Los puentes traseros de los camiones de gran tonelaje están sometidos a importantes esfuerzos, son muy robustos y de grandes dimensiones.

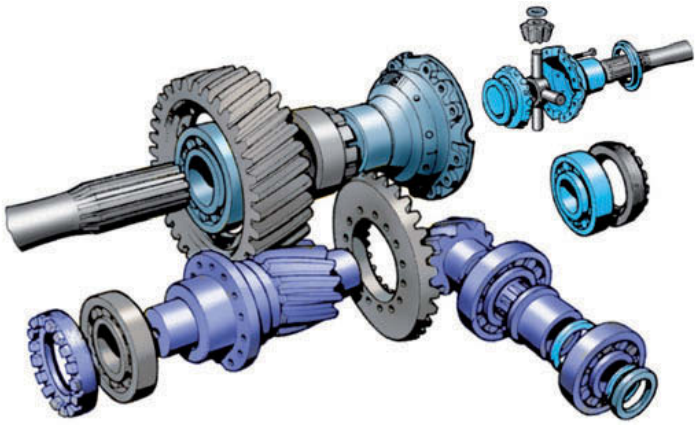
Grupos cónicos de doble reducción

Para conseguir una relación de transmisión grande en el grupo cónico, es necesario que la corona dentada tenga un número de dientes muy grande y un piñón pequeño.

En muchos casos, el diámetro de la corona impide un diseño adecuado del grupo y de la altura del camión. La manera de mantener una relación de transmisión adecuada con un diseño de piezas que no supere las dimensiones normales, es conseguir la relación de transmisión en dos etapas.

Grupos con doble reducción

El grupo con doble reducción emplea un engranaje helicoidal reductor interpuesto entre la corona del grupo y el diferencial (figura 5.7).



↑ **Figura 5.7.** Grupo reductor con doble reducción por engranajes helicoidales.

saber más

Grupo cónico hipoide

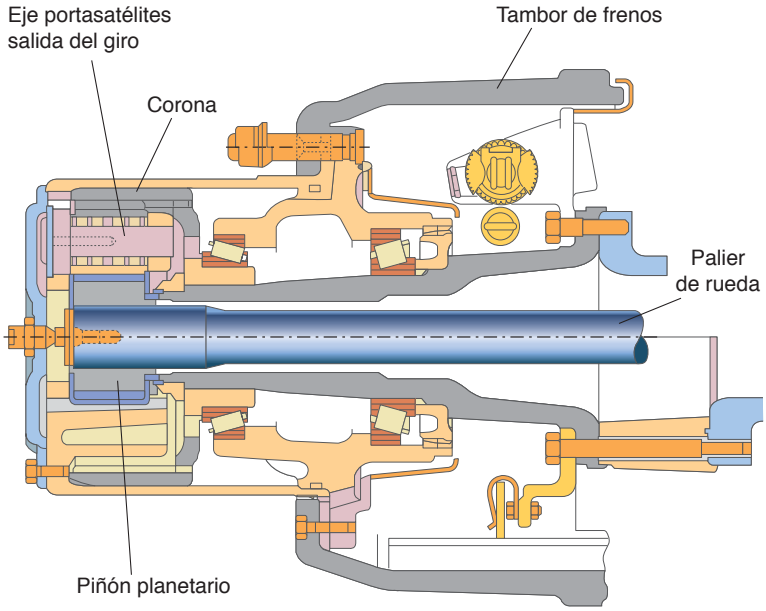
Cuando el ataque entre el piñón y la corona del diferencial se realiza por debajo del eje de simetría de la corona (figura 5.6), se denomina grupo cónico hipoide.

Grupos cónicos con dos reducciones

En estos grupos la primera reducción se produce en el piñón y la corona del grupo cónico, y la segunda reducción se consigue en los cubos de las ruedas, empleando un tren epicicloidal reductor (figura 5.8).

En el tren epicicloidal reductor la corona está frenada, y la fuerza se transmite desde el piñón planetario, que se encuentra enclavado al palier, transmitiendo el par por el eje del portasatélites al cubo de la rueda (figura 5.9).

↑ **Figura 5.8.** Corona y eje portasatélites de rueda.



↑ **Figura 5.9.** Sección del tren epicicloidal de rueda.

El empleo de trenes epicicloidales de rueda se emplea mayoritariamente en camiones de gran tonelaje y tractores agrícolas. Con este diseño se consigue que el grupo cónico y los palieres o semiárboles estén sometidos a menores esfuerzos y en su diseño se utilicen piezas más pequeñas que ocupen menos espacio, en su contra tienen un conjunto de rueda más complejo y costoso.

Reducciones en las motocicletas

↑ **Figura 5.10.** Transmisión por corona.

Los grupos reductores que más se emplean en las motocicletas son:

- Piñones y cadena de eslabones, que se utilizan en la mayoría de motocicletas.
- Ruedas dentadas rectas y correa dentada.
- Piñón y corona dentada de tipo hipoide, transmisión Paralever de BMW.

La relación de transmisión se calcula conociendo el número de dientes de los piñones o ruedas dentadas.

$$Rt = \frac{\text{Nº de dientes del piñón conducido (en la rueda)}}{\text{Nº de dientes del piñón conductor (salida del cambio)}}$$

2. El diferencial

El diferencial en un vehículo de cuatro ruedas, en las que dos son motrices, se coloca en el eje motriz, el eje que no es motriz no necesita diferencial.

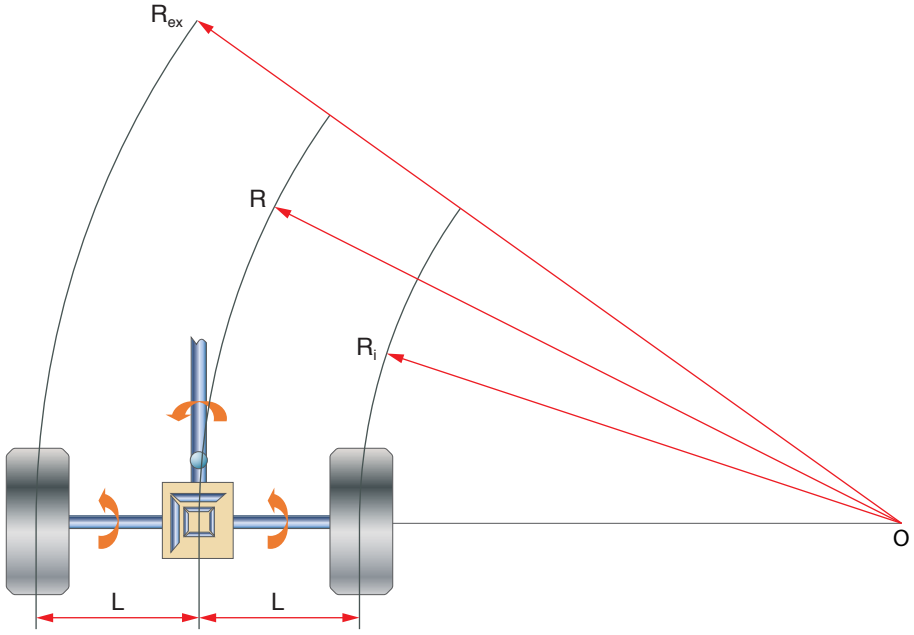
El conjunto diferencial cumple dos misiones en la transmisión:

- Reparte el par que sale de la caja de cambios a los semiárboles que, unidos al eje de giro de las ruedas, finalizan la cadena cinemática de transmisión.
- Compensa las diferencias de giro de los ejes de las ruedas cuando el vehículo toma una curva.

Cuando el vehículo circula en línea recta, las dos ruedas del eje recorren la misma distancia, el diferencial no necesita compensar el giro entre ruedas, el par se reparte al 50% a cada rueda (figura 5.11).

Al describir el vehículo una curva en su trayectoria, la rueda exterior realiza mayor recorrido que la interior. Para que no exista deslizamiento entre las dos ruedas del mismo eje de tracción o propulsión, la rueda exterior debe girar más rápido que la interior. El giro transmitido se compensa proporcionalmente entre las ruedas; si, por ejemplo, una rueda exterior gira al 60%, la interior girará al 40% (figura 5.12).

Durante el recorrido por una curva, la rueda interior recorre un arco menor que la exterior. El arco que recorre la rueda interior tiene un radio igual a $R_{int} = R - L$, y el arco de la rueda exterior será $R_{ex} = R + L$ (figura 5.13).



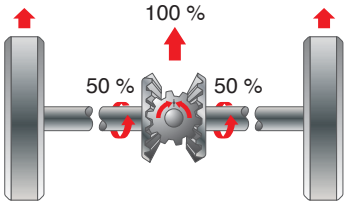
↑ **Figura 5.13.** Radios de giro del eje.

El mecanismo del diferencial permite tomar las curvas sin que la rueda interior arrastre. El mecanismo compensa las diferencias de giro y las revoluciones, de manera que los valores que pierde un eje, se transmiten al otro.

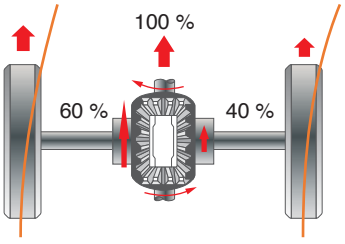
El diferencial pierde su eficacia cuando un neumático del mismo eje patina. En esta situación, el neumático opuesto al deslizamiento queda fijo sobre el terreno y todo el par se transmite al neumático que gira sin adherencia.

caso **práctico** inicial

Si un automóvil no dispone de diferencial, es muy difícil tomar las curvas, la rueda interior debería resbalar sobre el terreno.



↑ **Figura 5.11.** Funcionamiento del diferencial en línea recta.



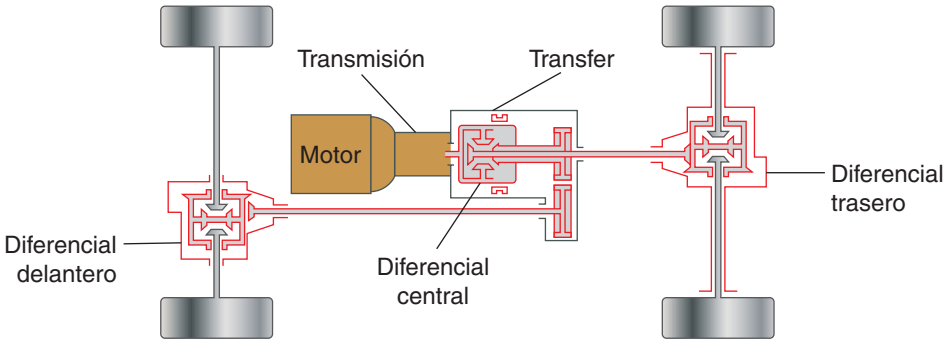
↑ **Figura 5.12.** Funcionamiento del diferencial en curva.

saber más

Vehículos sin diferencial

Las motocicletas de cuatro ruedas, quad, no incorporan diferencial en su eje trasero. Este es rígido y origina un deslizamiento en una de las ruedas al tomar las curvas.

El diferencial también se monta en vehículos 4x4 permanente, el diferencial permite repartir el par del motor y compensar las diferencias de giro de los dos ejes. Cuando se toma una curva, se comporta de manera similar que cuando se monta sobre el eje motriz repartiendo el par a los diferenciales como si de ruedas se tratara y compensando las diferencias de giro. El par de giro que pierde un eje lo gana el otro.



↑ **Figura 5.14.** Esquema de transmisión 4x4 con diferencial repartidor.

2.1. Tipos de diferenciales

- Diferencial de giro libre:
  - De dientes rectos.
- Diferenciales controlados:
  - Diferenciales con bloqueo manual.
  - Diferenciales autoblocantes:
    - Por discos de fricción.
    - Por conos de fricción.
- Diferencial Torsen.

↑ **Figura 5.15.** Carcasa del diferencial con rodamientos.

↑ **Figura 5.16.** Piñones planetarios con eje ranurado.

2.2. Diferencial de giro libre (sin bloqueo)

Constitución del diferencial de giro libre

El diferencial más empleado y sencillo es el diferencial de dientes rectos, que está constituido por los siguientes elementos:

Carcasa

Se fabrica de fundición y es el elemento que actúa de soporte del resto de piezas. En la carcasa se acoplan los rodamientos, la corona del grupo cónico y el conjunto diferencial (figura 5.15).

Planetarios

Son piñones de dentado recto y forma cónica. En los planetarios se engranan los palieres o semipalieres a través de su eje ranurado.

El diferencial tiene dos planetarios, uno por palier, enfrentados entre sí. Los planetarios, en su giro sobre su eje, disponen de arandelas axiales (figura 5.18) de material antifricción. Las arandelas axiales se montan también en los satélites y corrigen las holguras del conjunto.

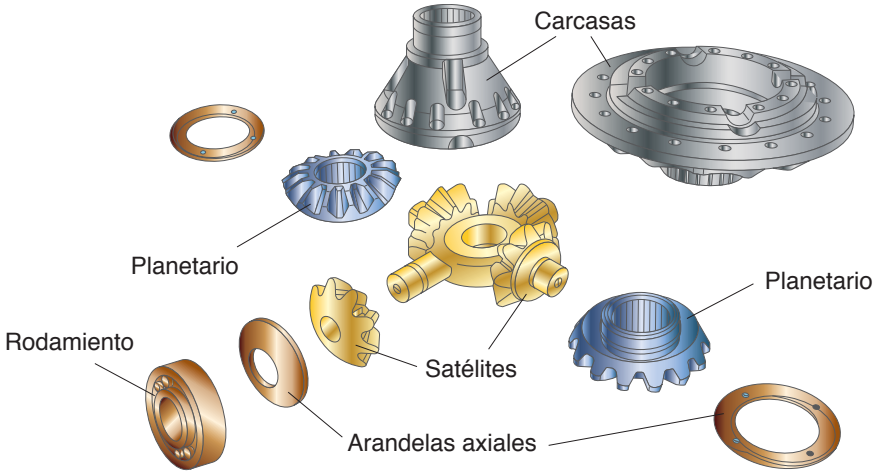
Satélites

Van engranados con los piñones planetarios y su dentado debe encajar perfectamente con estos. Pueden tener dos o cuatro piñones y actúan como cuñas empujando a los planetarios cuando se circula en línea recta; transmiten el giro entre los planetarios al tomar una curva compensando el giro entre los dos planetarios.

↑ **Figura 5.17.** Piñón satélite.

Rodamientos

Los rodamientos más empleados son los de rodillos cónicos, los cuales son capaces de soportar los grandes esfuerzos axiales y radiales que realizan el grupo cónico y el diferencial. **Los rodamientos de rodillos cónicos necesitan, en el montaje, un ajuste en su precarga,** para lo cual hay que seguir las indicaciones del fabricante.



↑ **Figura 5.18.** Constitución de un diferencial con cuatro satélites.

Funcionamiento del diferencial sin bloqueo

El diferencial es un conjunto mecánico capaz de realizar dos funciones con el mismo mecanismo, dependiendo de la resistencia a la rodadura de los neumáticos con el suelo.

Con la misma resistencia de rodadura, el diferencial reparte el par a los dos planetarios al 50%. El diferencial actúa como un conjunto; los satélites atacan contra los planetarios y los obliga a girar al mismo número de revoluciones.

Si el vehículo necesita compensar las diferencias de giro del eje motriz, el planetario de la rueda que ofrece mayor resistencia al giro se frenará. Al frenarse el planetario, los satélites girarán sobre su eje pero en sentido contrario entre ellos y transmitiendo el giro perdido al otro planetario. De esta manera, se regulan de forma automática las revoluciones que pierde un eje compensándolas en el otro. La compensación del número de revoluciones es un problema para este tipo de diferenciales, ya que, en situaciones extremas como nieve, barro, etc. y sin ningún control adicional de bloqueo, si una rueda pierde toda la adherencia patina, perdiendo por esa rueda todo el par de giro de la transmisión.

ACTIVIDADES

2. Compara, ayudándote de manuales de taller, el diferencial en distintos vehículos, haciendo una relación entre ellos de las características más importantes.

2.3. Diferenciales controlados

Diferenciales con bloqueo

caso práctico inicial

El bloqueo del diferencial se monta en los vehículos que necesitan circular por terrenos deslizantes.

Los vehículos que circulan o trabajan en terrenos deslizantes necesitan un dispositivo de bloqueo o anulación del diferencial. El bloqueo del diferencial permite al conductor activar y anular el efecto diferencial.

Las dos ruedas del eje motriz en línea recta giran a las mismas revoluciones y con el mismo par de transmisión. El diferencial bloqueado permitirá circular al vehículo en línea recta para salvar situaciones de difícil acceso y suelos deslizantes con peligro de derrapaje de una de las ruedas. Con el diferencial bloqueado y ante una curva, el vehículo será inestable tendiendo a deslizar hacia el exterior de la curva arrastrando una de las ruedas, el bloqueo se debe desacoplar cuando no sea necesario.

El bloqueo del diferencial también es utilizado por furgonetas y vehículos industriales en el puente trasero. El bloqueo permite en situaciones de pérdida de tracción de una rueda, en la que el vehículo se quedaría detenido, bloquear el diferencial y compensar la tracción entre los árboles del eje.

Dispositivos de bloqueo

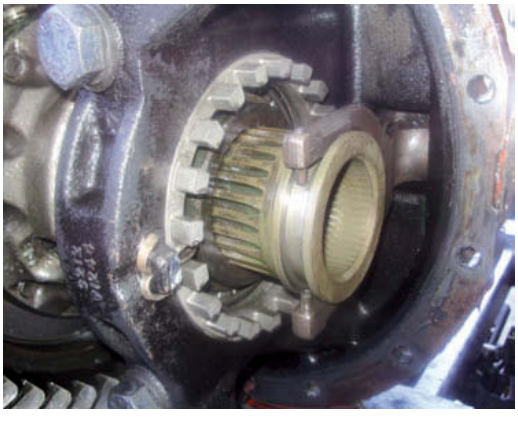
saber más

Condiciones para el bloqueo

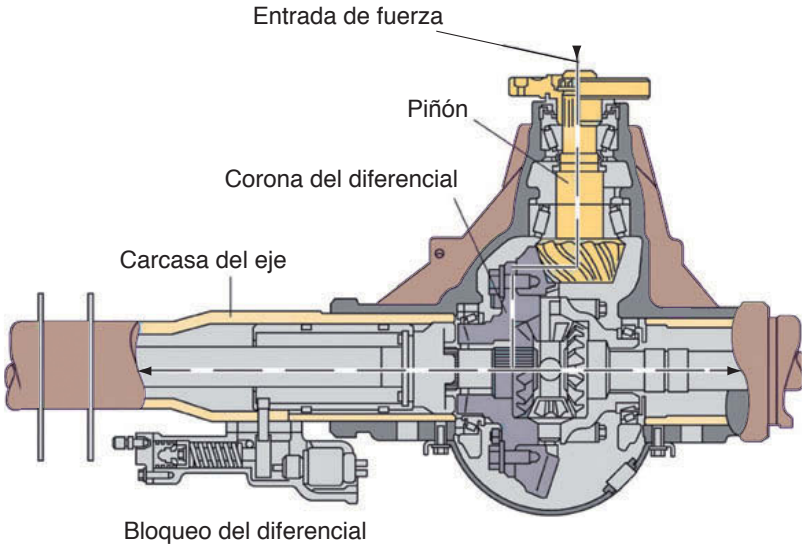
El bloqueo del diferencial se debe realizar con el vehículo parado o a escasa velocidad y desconectarlo para circular normalmente.

El bloqueo manual es el sistema más sencillo de bloqueo del diferencial. Se consigue desplazando un manguito ranurado montado en el palier. El manguito ranurado, al desplazarse, fija el palier al cuerpo del diferencial, anulando el efecto diferencial (figura 5.19).

El manguito se desplaza por un mecanismo mecánico, de varillas o cables, o electro-hidráulico desde el puesto de conducción. Mientras el bloqueo del diferencial está conectado se mantiene fuera la acción del diferencial. Cuando el engranaje diferencial está bloqueado, se transmiten las mismas revoluciones y el mismo par en ambas ruedas (figura 5.20).

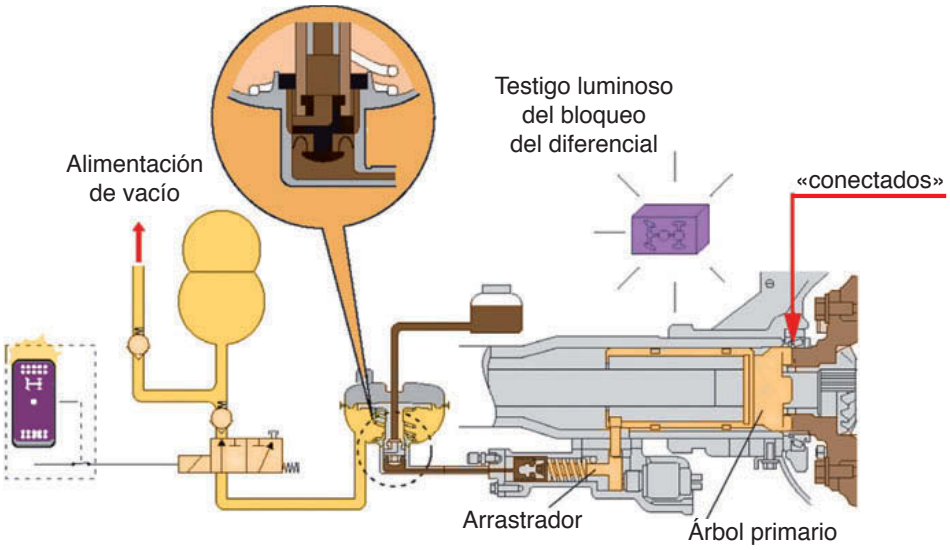


↑ **Figura 5.19.** Horquilla del bloqueo del diferencial.



↑ **Figura 5.20.** Bloqueo del diferencial trasero (furgón VW LT).

El bloqueo electrohidráulico se equipa en vehículos industriales (tractores y camiones) y en vehículos ligeros como furgones y 4x4 (figura 5.21).



↑ **Figura 5.21.** Funcionamiento del bloqueo electro-hidráulico del diferencial.

Diferenciales autoblocantes

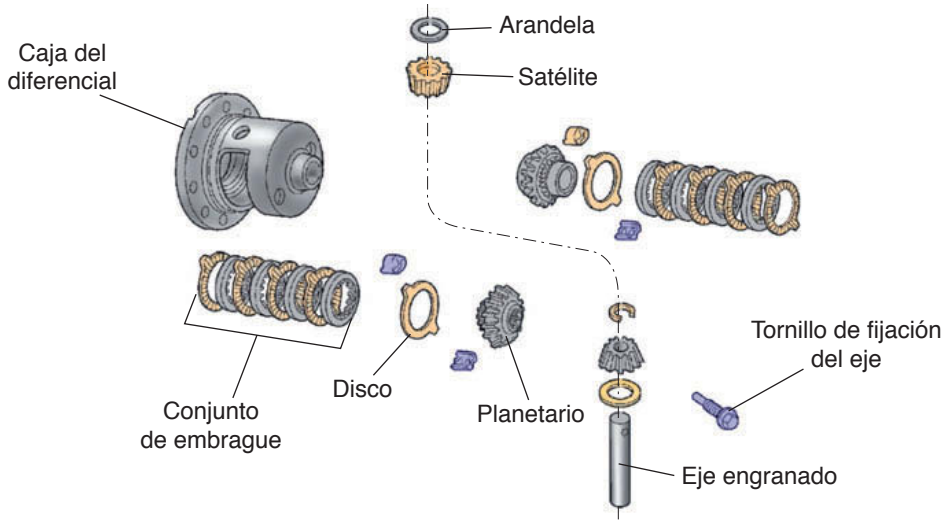
Los diferenciales que incorporan dispositivos autoblocantes realizan las mismas funciones que los diferenciales normales repartiendo y compensando las diferencias de giro.

Estos diferenciales incorporan un mecanismo que permite anular el efecto diferencial en las situaciones de pérdida total de adherencia de una rueda. Se activa automáticamente sin que el conductor intervenga como en el bloqueo manual.

Diferencial autoblocante por discos de fricción *trac-lok*

Es un diferencial normal sin bloqueo, si una de las ruedas gira, la opuesta generará solo la misma torsión que la rueda que gira.

En el diferencial *trac-lok*, parte de la torsión de la corona de transmisión se transmite a través de conjuntos de embrague. Los conjuntos de embrague contienen discos múltiples. Los discos tienen acanaladuras radiales en los platos o material de fibra conglomerada (figura 5.22).



↑ **Figura 5.22.** Componentes del diferencial *trac-lok*.

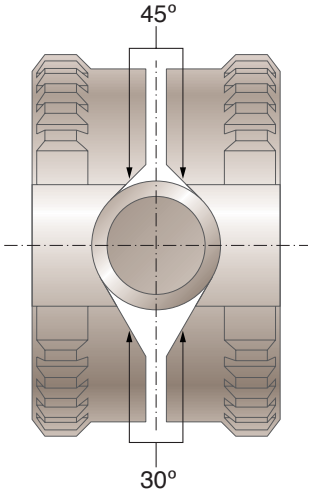
saber más

Debido a la depresión comandada en la figura 5.21, se desplaza el émbolo en la unidad de transferencia, cerrando la abertura entre el depósito de compensación y el bloqueo del diferencial y comprimiendo el líquido de freno.

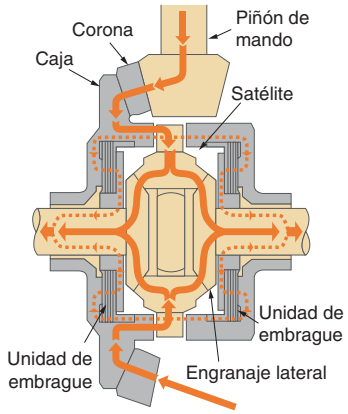
La presión del líquido desplaza el arrastrador que está unido al árbol primario. El arrastrador engrana en la corona del diferencial uniendo así el árbol primario con la corona del diferencial y bloqueando el diferencial.

recuerda

En competición se emplean diferenciales autoblocantes con discos y ángulos de rampa intercambiables (figura 5.23), el cambio del ángulo de la rampa permite modificar el porcentaje de bloqueo del diferencial en aceleración y retención.



↑ **Figura 5.23.** Ángulos de rampa del diferencial.



↑ **Figura 5.24.** Diferencial autoblocante de deslizamiento limitado *trac-lok*.

Funcionamiento del diferencial por discos de fricción *track-lok*

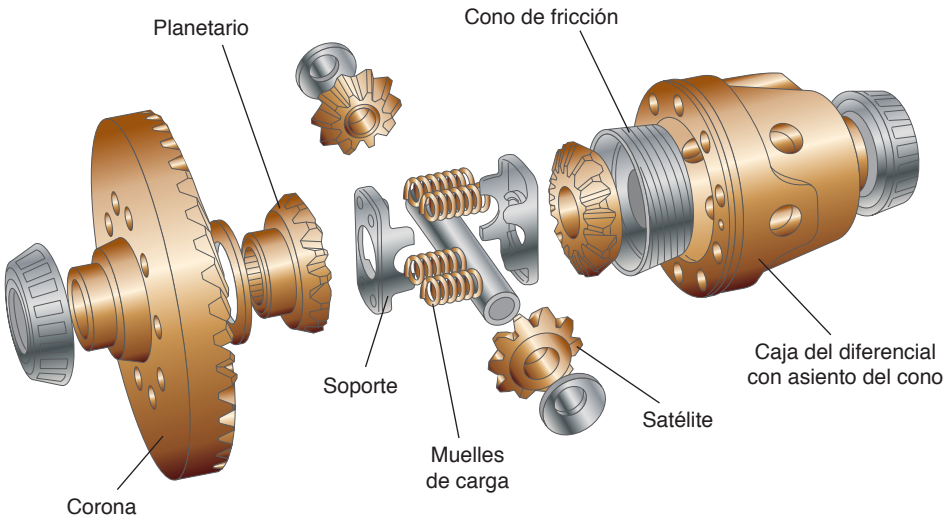
Durante el funcionamiento, los embragues *trac-lok* se acoplan por efecto de dos fuerzas concurrentes.

La primera es la fuerza de ajuste previo ejercida por arandelas de muelle Belleville, contenidas dentro de los conjuntos de embrague. La segunda proviene de la separación de fuerzas generadas por los engranajes laterales al aplicarse torsión a través de la corona (figura 5.24).

El diferencial, en diferencias de giro pequeñas, como curvas, compensa permitiendo el efecto diferencial entre ejes, pero no permite deslizamientos bruscos ni prolongados (patinamientos), el conjunto de discos acoplados a los planetarios lo impiden.

Diferencial autoblocante por conos de fricción

El diferencial de deslizamiento limitado «autoblocante» tiene una estructura similar al resto de diferenciales, satélites y planetarios, la diferencia radica en el dispositivo que equipe para evitar la «fuga del par» cuando una rueda pierda la adherencia al suelo. Para solucionar este inconveniente, el diferencial de conos de fricción y deslizamiento limitado transfiere el par sobre la rueda con mejor adherencia; los elementos que constituyen el diferencial aparecen reflejados en la (figura 5.25).



↑ **Figura 5.25.** Despiece del diferencial de conos de fricción.

Funcionamiento del diferencial autoblocante por conos de fricción

El principio de funcionamiento se basa en el empleo de un cono de fricción que realiza la función de embrague, entre la caja del diferencial y un planetario, arrastrando los dos planetarios a la misma velocidad a la que gira la caja del diferencial.

La acción de embrague y el efecto autoblocante dependen del resultado de dos acciones:

1. La presión que ejercen los muelles contra el cono.

2. La fuerza de empuje axial que realicen los satélites contra los planetarios.

Funcionamiento en curva

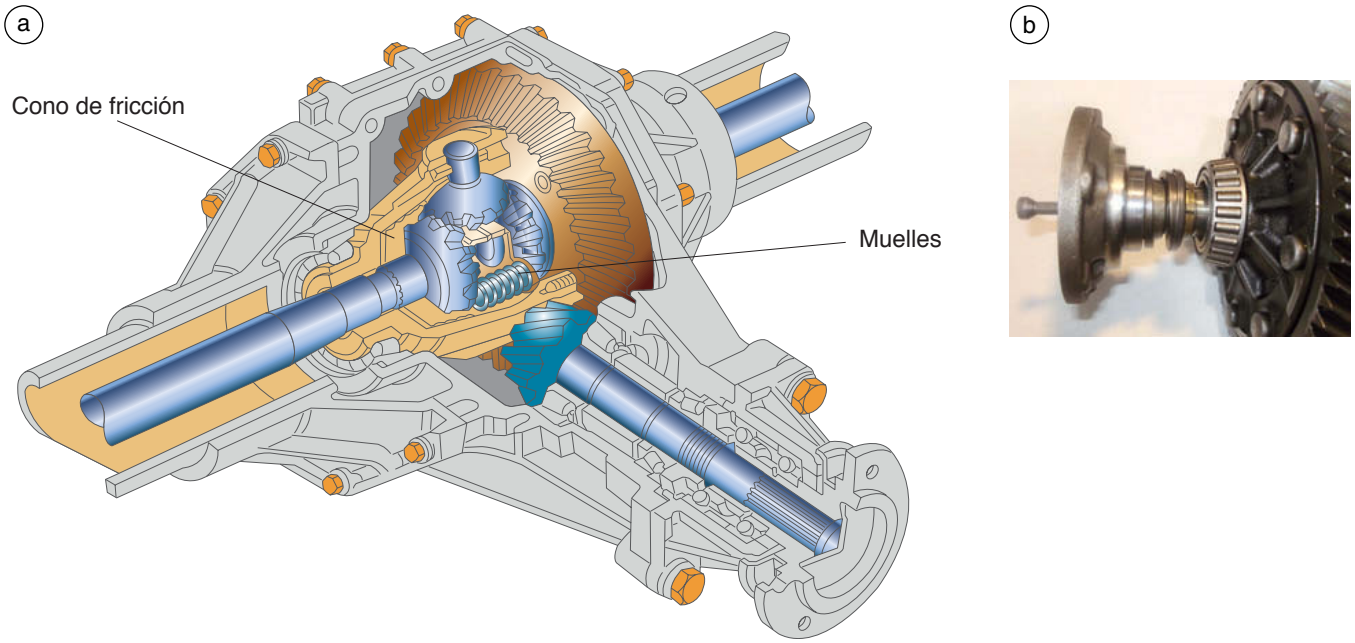
El conjunto se comporta con efecto diferencial normal; cuando el vehículo toma una curva, la rueda interior reduce su velocidad y la exterior la aumenta compensada por el propio diferencial.

La diferencia de velocidad entre las dos ruedas genera una fuerza superior a la fuerza de adherencia del cono de fricción con la carcasa; en esta situación, el cono desliza dentro de la caja con lo que se produce el efecto diferencial normal.

Pérdida de adherencia en una rueda

En esta situación, el cono de fricción está solidario a la caja del diferencial (figura 5.26), los muelles empujan contra los planetarios y el cono de fricción, el par se transmite a los dos planetarios por igual y las dos ruedas giran a la misma velocidad.

El par transmitido en estas condiciones de adherencia está limitado por la fuerza de empuje de los muelles. Si se supera el par, el cono de ficción resbalará y perderá el efecto de bloqueo del diferencial.



↑ **Figura 5.26.** a) Diferencial de deslizamiento limitado con cono y muelles. b) Muelle y cono del bloqueo del diferencial.

ACTIVIDADES

3. Haz una relación de las diferencias más importantes entre el diferencial por discos de fricción y el diferencial por conos de fricción.

4. Busca en internet o en manuales de taller información sobre el principio de funcionamiento de diferenciales del tipo *vari-lok* y compárala con otros diferenciales autoblocantes.

2.4. Diferencial Torsen

↑ **Figura 5.27.** Diferencial Torsen.

El diferencial Torsen es un sistema diferencial que permite repartir el par de fuerza de la transmisión de manera proporcional a la adherencia del neumático al suelo. Cuanta más adherencia, mayor par de transmisión; de modo que si la rueda pierde el contacto con el suelo y no ofrece resistencia, todo el par se transmitirá al eje contrario, y la rueda girará pero no resbalará.

El diseño del diferencial permite compensar las diferencias de giro al realizar las curvas, al igual que un diferencial de dentado recto.

Constitución del diferencial Torsen

El diferencial Torsen dispone de un grupo cónico formado por un piñón y una corona.

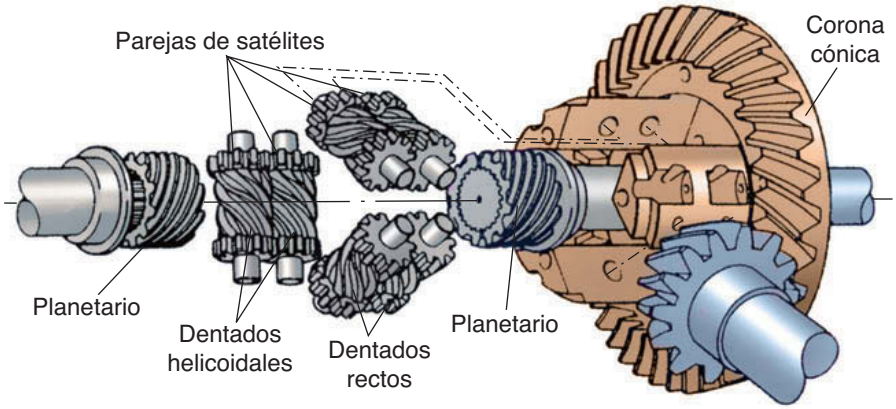
Los palieres se unen a unos engranajes cilíndricos de dentado helicoidal que sustituyen a los planetarios de dentado cónico del diferencial convencional.

- Dos planetarios del tipo tornillo sinfín con una inclinación de la hélice en el mismo sentido, cada planetario es conectado a un palier.
- Tres parejas de satélites con dos tipos de dentados:
  - El dentado helicoidal engrana con el planetario sinfín.
  - El dentado recto engrana con el otro satélite en su dentado recto, formando una pareja.

Funcionamiento del diferencial Torsen

↑ **Figura 5.28.** Engranajes Torsen.

El funcionamiento del diferencial Torsen está basado en el comportamiento de dos engranajes helicoidales que se cruzan a 90° (figura 5.28). La inclinación de los dientes del engranaje permite diseñar diferenciales más flexibles, el ángulo de inclinación comunica la transmisión del giro de un planetario a otro generando el efecto diferencial.



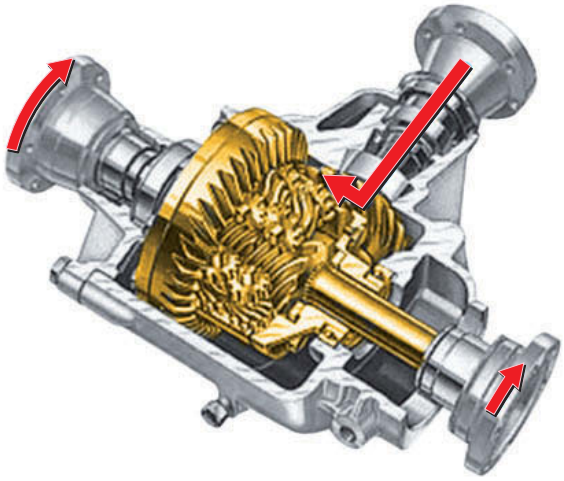
↑ **Figura 5.29.** Componentes de un diferencial Torsen.

Cuando el vehículo toma una curva, el palier se frena y el engranaje satélite gira sobre su planetario sinfín. El giro del satélite se transmite a su pareja por medio del engranaje de dentado recto. El satélite que engrana con el otro planetario sinfín le transmite el giro y le obliga a girar más rápido debido al efecto diferencial (figura 5.29).

Las revoluciones que pierde un palier las gana el otro, como un diferencial de dentado recto normal.

En curvas

En curvas, el comportamiento del Torsen es similar a un diferencial normal, la rueda interior de la curva gira menos que la rueda exterior, las vueltas que pierde la rueda del interior las gana la rueda exterior, compensando de forma automática el giro del conjunto (figura 5.30).



↑ **Figura 5.30.** Funcionamiento en curva.

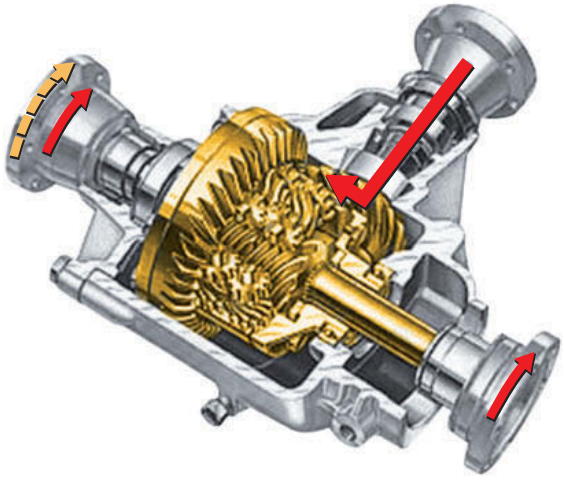
En terrenos deslizantes

El diseño del diferencial Torsen evita la pérdida del par cuando una rueda pierda la adherencia, sin necesidad de un bloqueo adicional.

Los piñones satélites están unidos entre sí formando una pareja y transmiten el giro a los dos ejes por igual. La rueda que ofrece más adherencia tracciona más, empujando al vehículo y la otra rueda, con menos adherencia, no tracciona pero tampoco patina (figura 5.31).

El diferencial Torsen consigue que todo el par no se escape por la rueda sin adherencia, debido al uso de engranajes cilíndricos de dentado helicoidal y a la unión en parejas de los satélites con piñones de dentado recto.

En resumen, el diferencial Torsen permite las diferencias de giro entre las ruedas de un mismo eje, actúa como un diferencial normal y en terrenos de baja adherencia funciona como un diferencial bloqueado.



↑ **Figura 5.31.** Funcionamiento sobre terrenos deslizantes.

saber más

Diferenciales autoblocantes gestionados electrónicamente, ASD

Estos diferenciales disponen de captadores de señales en cada semieje. Una unidad de control procesa las señales y un circuito hidráulico manda la presión hidráulica al émbolo de accionamiento que presiona los discos de frenos de cada planetario.

Cuando la unidad de control detecta una diferencia elevada de giro posible deslizamiento, comanda la electroválvula que abre el caudal de aceite que empuja al émbolo de los discos y bloquea el diferencial.

3. Mantenimiento del grupo reductor y del diferencial

recuerda

Los vehículos con caja de cambios automáticas y tracción delantera, emplean dos aceites.

Un aceite ATF para el cambio y un aceite SAE 80W90 para el grupo y diferencial.

El mantenimiento dependerá principalmente del tipo de caja de cambios y del grupo reductor y diferencial. En los vehículos con tracción delantera, el grupo reductores y el diferencial se encuentran formando un conjunto con la caja de cambios. El aceite empleado para lubricar la caja es el mismo que el del grupo y diferencial, por ejemplo, el Seat León emplea en el conjunto caja de cambios con grupo reductor y diferencial 1,7 litros de aceite del tipo API GL4 SAE 75W (hipoide).

En los modelos con tracción trasera y 4x4 el grupo cónico y diferencial se encuentran formando un conjunto en el eje motriz, el aceite que se emplea el grupo se encuentra separado del de la caja y normalmente no es el mismo que el del cambio. Por ejemplo, el modelo Mercedes-Benz Clase C Diesel emplea en la caja de cambios manual aceite tipo ATF, y en el puente trasero aceite SAE 90 o SAE 85W90. BMW, en su serie 3, emplea en la caja de cambios aceite ATF Dexron II, y en el puente trasero, SAE 80W90.

El cambio de aceite del grupo se debe realizar en los periodos recomendados por el fabricante según los programas de mantenimiento del vehículo.

Los aceites empleados en los nuevos modelos son aceites de larga duración, y solamente es necesario comprobar el nivel y rellenar si fuese necesario.

La duración de estos aceites es muy elevada, y en algunos vehículos es incluso de por vida.

4. Diagnóstico de averías

saber más

Diagnosticar

En los modelos que disponen de tapa trasera en el grupo, se puede quitar y realizar la comprobación del estado del grupo y del diferencial.

Colocando un reloj comparador se puede medir la holgura del piñón y la corona.

↑ **Figura 5.32.** Grupo con tapa trasera.

Las averías en los grupos y diferenciales están relacionadas con la pérdida o falta de aceite y la rotura de rodamientos y elementos mecánicos.

Las anomalías de funcionamiento del grupo y del diferencial producen ruidos anormales y en caso de rotura o gripaje de rodamientos o piezas es muy difícil desplazar el vehículo.

4.1. Ruidos en los engranajes

Los ruidos en los engranajes (conjunto piñón-corona) pueden ser provocados principalmente por tres causas:

- Falta de lubricación.
- Excesiva o incorrecta holgura entre el piñón y la corona.
- Desgaste excesivo de los dientes de los engranajes.

El ruido anormal de los engranajes del grupo se puede comprobar rodando el coche en carretera.

La prueba se debe realizar con el aceite del grupo en caliente. El vehículo se debe acelerar hasta alcanzar la velocidad en la que el ruido se hace más pronunciado, en este momento se libera el grupo de la carga, se pone el cambio en punto muerto y se observa el ruido: si el ruido desaparece, la causa se debe a los engranajes, ya sea por desgaste excesivo o por holguras o mal reglaje del grupo.

Si el ruido continúa, sin carga, el ruido o silbido se debe a los rodamientos del piñón o de la caja del diferencial.

4.2. Ruidos en los rodamientos

Los rodamientos del piñón de ataque y del diferencial producen ruidos cuando están desgastados o tienen dañadas sus pistas. Esta avería se produce por falta de lubricación y por el desgaste propio del funcionamiento.

Los rodamientos desgastados o dañados producen un sonido retumbante de manera constante que varía con la velocidad del vehículo. El nivel de ruido aumenta cuanto mayor es la velocidad de giro de los rodamientos.

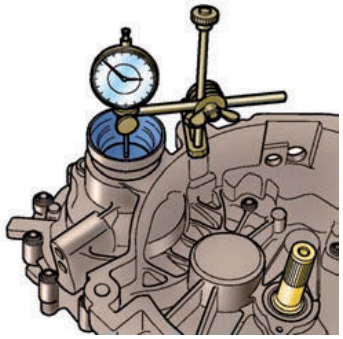
5. Desmontaje, verificación y ajuste

5.1. Grupos reductores y diferenciales en cajas de cambios

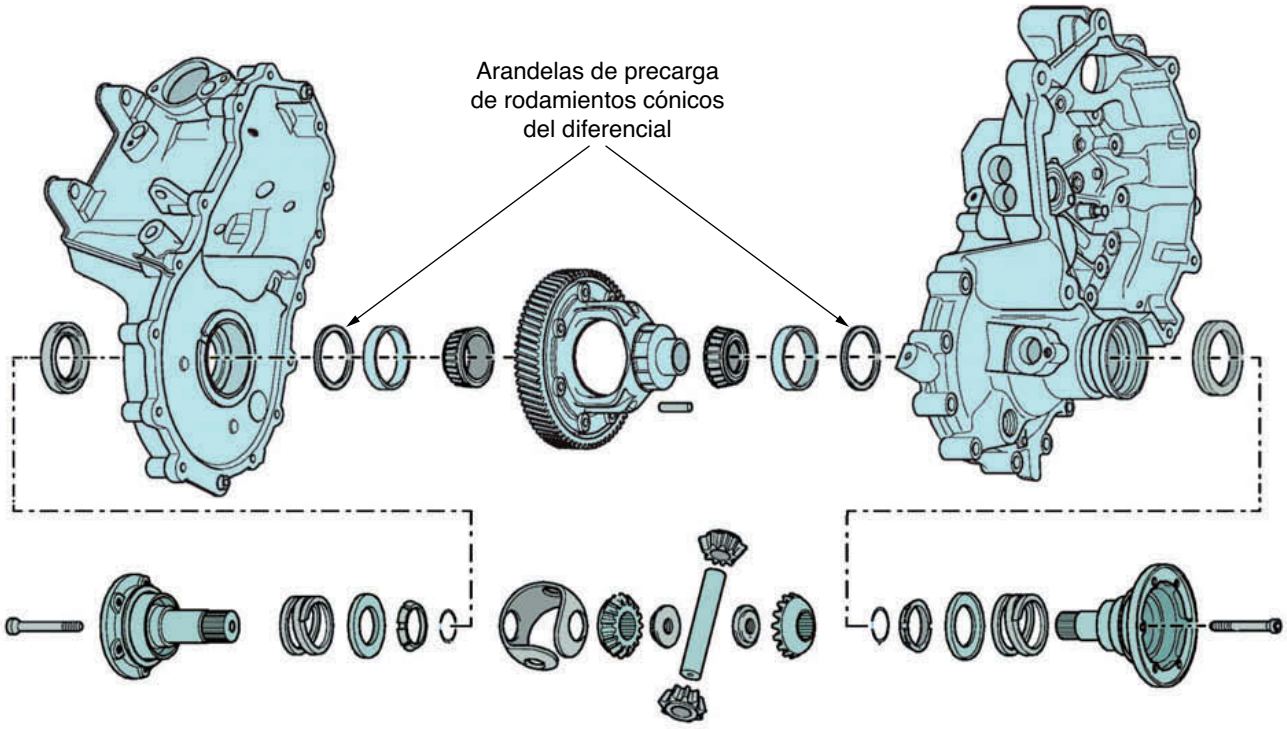
Este sistema de reductor y diferencial forma un solo conjunto con la caja de cambios, por lo que las operaciones de desmontaje y verificación son similares a las que se realizan para desmontar y verificar una caja de cambios de este diseño.

En la sustitución de los rodamientos cónicos del diferencial es necesario realizar el ajuste y la precarga de los mismos. La precarga se consigue con arandelas de ajuste cuyo grosor se calcula realizando las indicaciones que el fabricante señala en el manual de reparación. Al cierre de la caja de cambios, los rodamientos se quedarán montados con su precarga recomendada.

En las reparaciones en que no sea necesario sustituir los rodamientos: en la carcasa se montará la misma arandela de ajuste que llevaba en el desmontaje previo.



↑ **Figura 5.33.** Medida para calcular las arandelas de precarga.



↑ **Figura 5.34.** Despiece del grupo reductor y diferencial en la caja de cambios con tracción delantera.

5.2. Puentes traseros

En vehículos con motor delantero y propulsión trasera, el diferencial, el piñón de ataque y la corona forman lo que se denomina el puente trasero (figura 5.35).

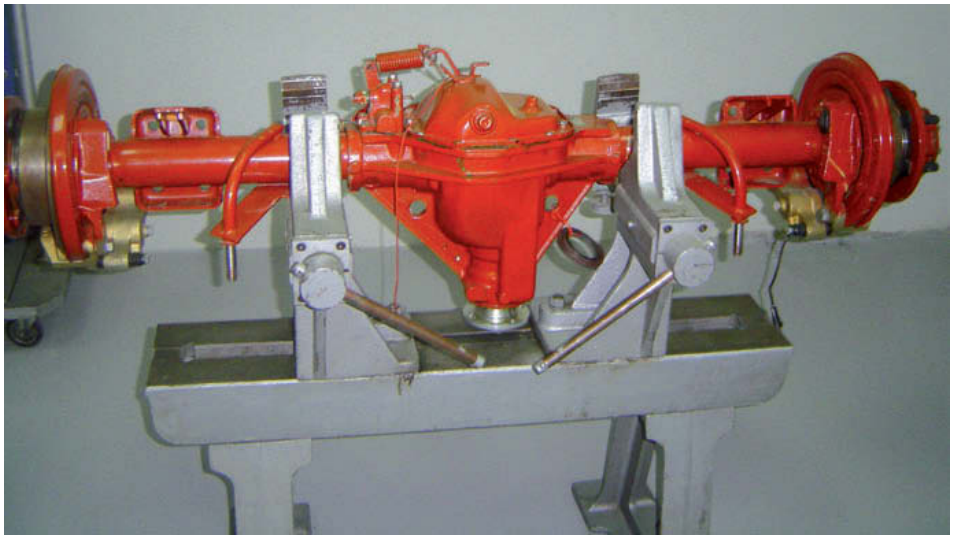
El desmontaje del grupo cónico y diferencial y el posterior despiece se realizan siguiendo los pasos recomendados por el fabricante en el manual de reparaciones, y una vez desmontado el conjunto se debe verificar el estado de todos los elementos.

Las principales operaciones que es necesario realizar son:

- Comprobar la holgura del piñón con la corona de 0,08 a 0,15 mm. Verificar el estado de las dos piezas (deformaciones, desgastes, picados, dientes rotos, etc.).
- Verificar el estado de las pistas de los rodamientos, de los rodillos y de las jaulas (deformaciones, picados, óxidos, desgastes).
- Verificar los engranajes que forman el grupo cónico, el piñón y la corona (deformaciones, desgastes, picados, dientes rotos, etc.).
- Verificar los engranajes del diferencial, planetarios, satélites, ejes y arandelas de ajuste de los planetarios.
- Verificar que las carcasas no tengan grietas, que los asientos de los rodamientos y retenes no presenten deformaciones y que los retenes estén en buen estado.

saber más

La principal avería del grupo cónico es el desgaste de los dientes del grupo por falta de lubricación. El desgaste de los dientes produce una holgura excesiva entre las dos piezas.



↑ **Figura 5.35.** Puente trasero montado en un soporte.

5.3. Montaje del grupo cónico (piñón de ataque y corona)

La operación de montaje se divide en dos partes:

- Montaje y precarga de los rodamientos del piñón de ataque.
- Montaje, precarga de los rodamientos de la corona y reglaje de la holgura con el piñón de ataque.

recuerda

Las pérdidas de aceite por el retén del palier de la rueda impregnan de aceite las zapatas de los frenos y se pierde la eficacia del frenado en esa rueda.

Montaje del piñón de ataque

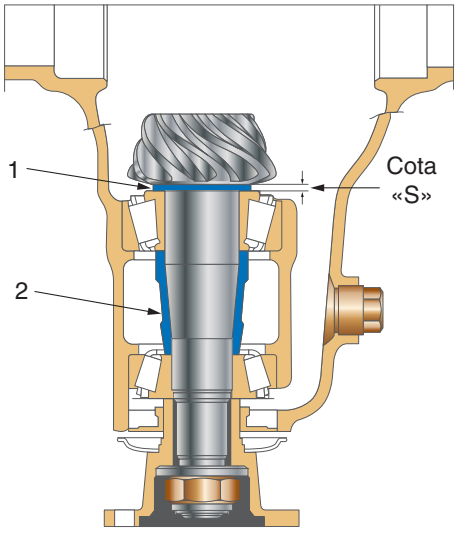
El piñón de ataque va montado sobre dos rodamientos de rodillos cónicos, con un separador entre ellos y ajustados a su debida precarga.

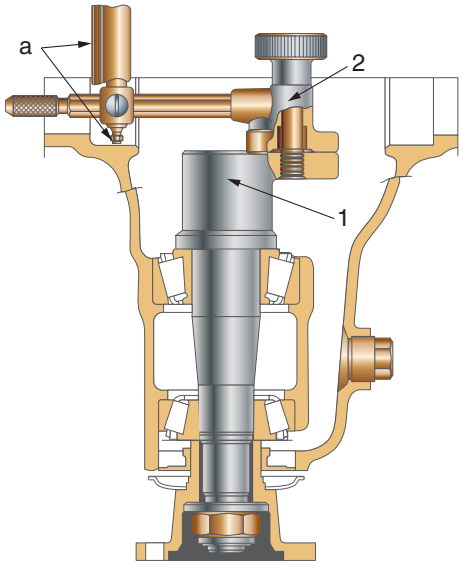
El piñón se encuentra posicionado respecto a la corona, con una cota denominada «S», determinada por el espesor de la arandela que se interpone entre el piñón y el rodamiento (figura 5.36 a) y que posiciona correctamente el piñón con la corona.

Si en la reparación no se sustituyen ni el piñón ni los rodamientos, la cota «S» que marca su grosor es apropiada y se puede volver a montar.

Si el piñón de ataque se encuentra dañado y al sustituirlo es necesario definir la nueva posición del piñón y calcular el nuevo espesor de la arandela, cota «S».

Cada fabricante recomienda un método para definir ese espesor y la arandela apropiada. Para determinarla, se emplea un falso piñón y calzos (figura 5.36 b).

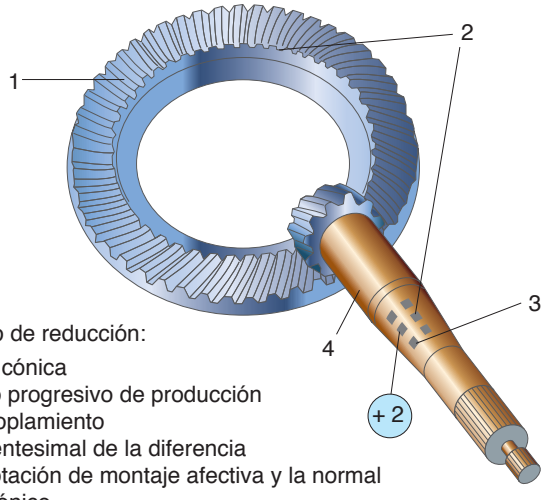




↑ **Figura 5.36.** a) Cota «S» posición del piñón de ataque. b) Falso piñón y útil con reloj comparador.

↑ **Figura 5.37.** Piñón de ataque y arandela de reglaje cota «S».

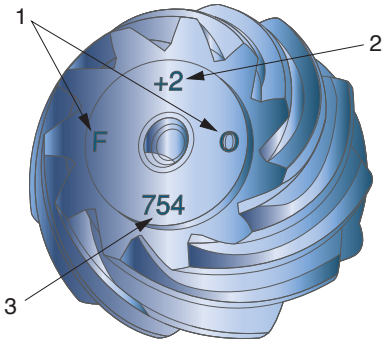
En el cálculo del espesor de la arandela cota «S», se tiene en cuenta el número que aparece en el piñón y que indica la cota de sobremedida de fabricación (figura 5.38).



Par cónico de reducción:

1. Corona cónica
2. Número progresivo de producción y de acoplamiento
3. Valor centesimal de la diferencia en la dotación de montaje afectiva y la normal
4. Piñón cónico

↑ **Figura 5.38.** Número indicativo del valor de sobremedida en centésimas del piñón.



1. Números de producción
2. Variación de la profundidad del piñón satélite de mando
3. Número de correspondencia del engranaje (igual al número de la corona)

↑ **Figura 5.39.** Números de identificación del piñón de ataque.

La precarga de los rodamientos del piñón de ataque se consigue empleando un casquillo deformable (figura 5.40) y apretando la tuerca autofrenante.

La tuerca autofrenante no suele tener fijado el par de apriete, por lo que es necesario apretar muy despacio, comprobando continuamente el par de rodadura del conjunto con un dinamómetro apropiado (figura 5.41).

saber más

Ajuste de los rodamientos

Se conoce como precarga de un rodamiento de rodillos cónicos, a la fuerza que se debe aplicar sobre las pistas del rodamiento para ajustarlo.

Los rodamientos de rodillos cónicos son los únicos rodamientos que necesitan ajuste de precarga.

↑ **Figura 5.40.** Casquillo deformable.

↑ **Figura 5.41.** Verificación del esfuerzo de rotación del piñón de ataque.

5.4. Montaje de la corona y del diferencial

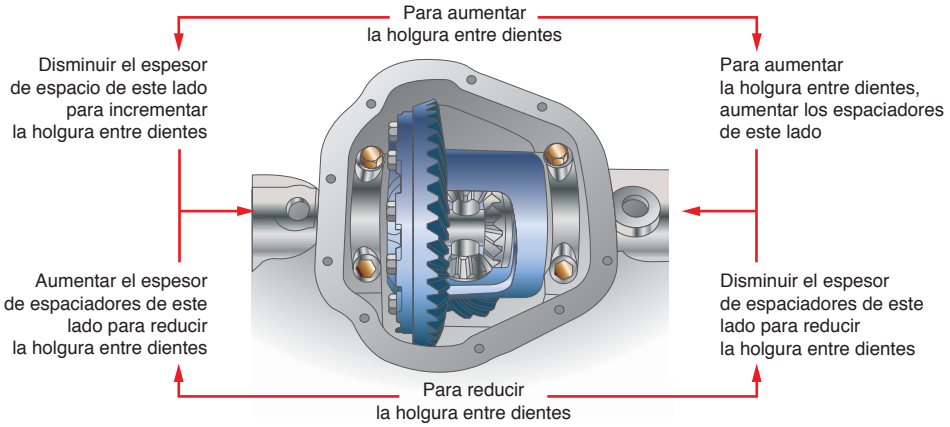
↑ **Figura 5.42.** Medida de la holgura piñón y corona.

Con el piñón de ataque montado sobre la carcasa, se puede montar el conjunto corona y diferencial. El montaje de la corona y del diferencial tiene dos ajustes:

1. Ajuste de la aproximación u holgura del piñón con la corona. Esta cota suele estar comprendida entre 0,05 a 0,15 mm, dependiendo del modelo. Se mide con un reloj comparador colocado en una base apropiada (figura 5.42).

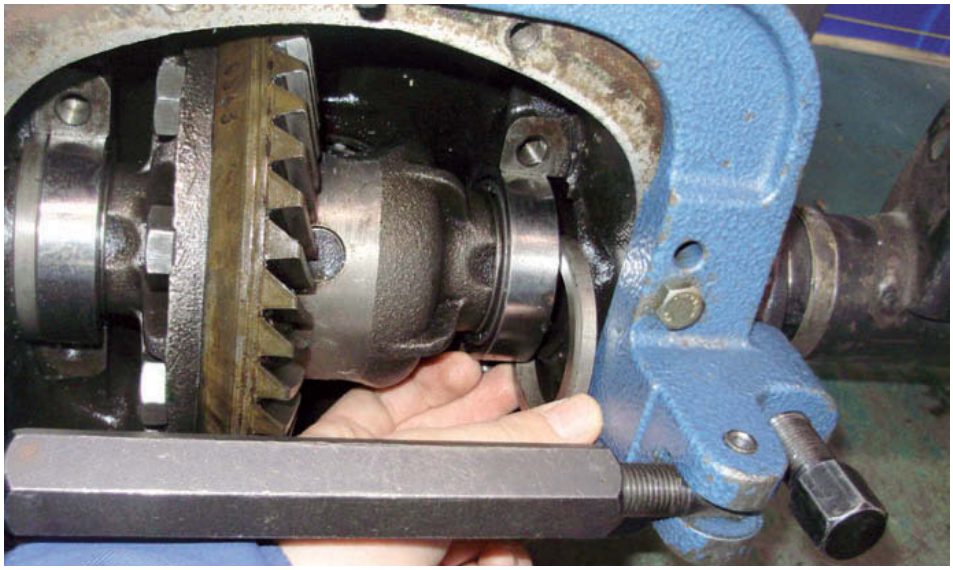
   La holgura correcta de la corona con el piñón indica que el ataque del piñón con la corona es apropiada.

2. Ajuste y reglaje de la precarga de los rodamientos de rodillos cónicos de la corona y diferencial. La precarga de los rodamientos se consigue con tuercas roscadas, espaciadores o arandelas de ajuste que se colocan entre la carcasa y la pista del rodamiento (figura 5.43).



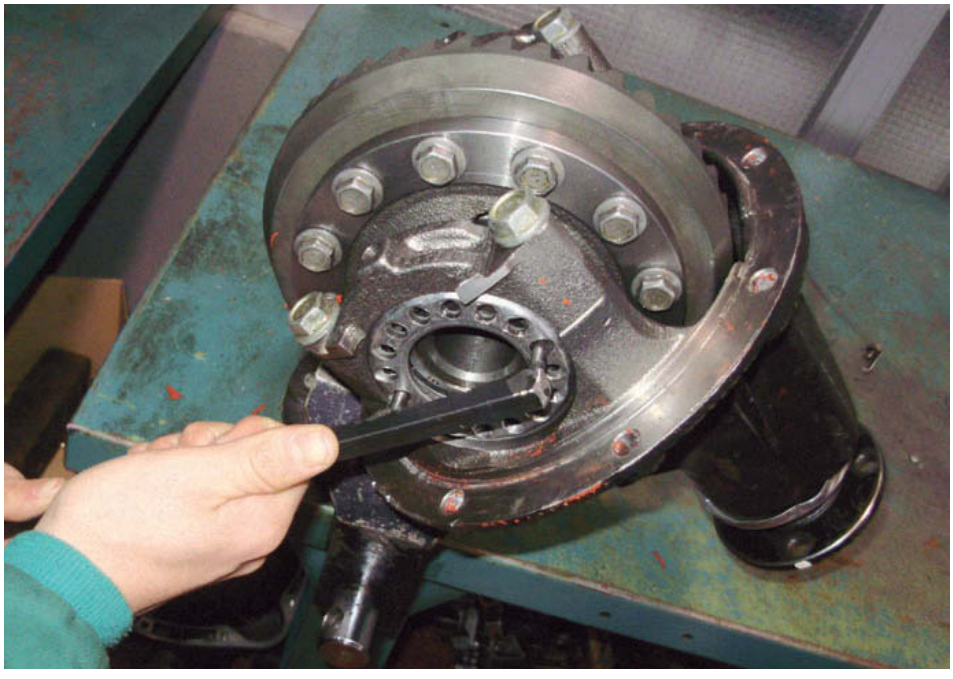
↑ **Figura 5.43.** Ajuste de espaciadores para la holgura del grupo.

En los grupos cónicos que disponen de espaciadores para ajustar el grupo, la suma de los espesores de los dos espaciadores da la precarga del conjunto. Si es necesario desplazar la corona en un sentido o en otro, para ajustar la holgura del piñón con la corona, la medida que se reste al espaciador de la izquierda se debe sumar al espaciador de la derecha, para no alterar la precarga del conjunto (figura 5.44).



↑ **Figura 5.44.** Útil separador y espaciador.

En los grupos que disponen de tuercas laterales que sustituyen a las arandelas, el reglaje en estos modelos se realiza de manera similar; la aproximación de la corona al piñón se efectúa apretando las tuercas laterales (figura 5.45). Una vez aproximada la corona y manteniendo la holgura del piñón con la corona, se mide el par de rodadura de todo el conjunto. Si los rodamientos tienen mucha precarga (muy apretados), el par de rodadura superará al indicado por el fabricante y será necesario aflojar las tuercas laterales, manteniendo siempre la holgura del piñón con la corona.



↑ **Figura 5.45.** Tuerca perforada para el empleo del útil de apriete.

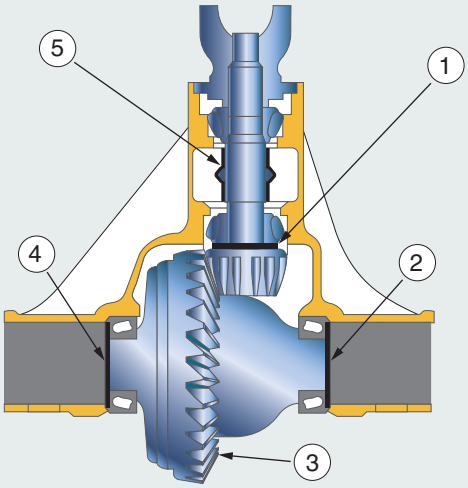
recuerda

La holgura entre el piñón y la corona compensa las dilataciones que sufren las dos piezas con el aumento de la temperatura en su funcionamiento normal.

EJEMPLO

Realiza el reglaje y ajuste de un grupo cónico y diferencial de un vehículo con propulsión trasera o 4x4, empleando el método de la huella del ataque del piñón con la corona.

El conjunto se regula empleando arandelas espaciadoras en los rodamientos de la corona y diferencial que aparecen en la figura 5.46.



1. Espaciador-arandela de profundidad del piñón de ataque cota «S»
2. Espaciador-arandela del cojinete del diferencial del lado del piñón de ataque
3. Corona
4. Espaciador-arandela del cojinete del diferencial del lado de la corona
5. Separador aplastable (anillo elástico)

↑ **Figura 5.46.**

Solución:

1. Ajuste y montaje del piñón de ataque.

   Se pueden dar dos situaciones:

   - Sustituir el piñón y calcular el espesor de la nueva arandela o espaciador cota «S».
   - Sustituir solamente los rodamientos sin cambiar la arandela 1.

   Montar el piñón con los rodamientos y el anillo elástico 5 nuevo, apretar el tornillo del piñón, comprobando el par de rodadura con una dinamométrica pequeña (1,5 a 2 N·m).

   Los retenes de aceite se deben cambiar en cada reparación.

2. Montaje de la corona y del diferencial.

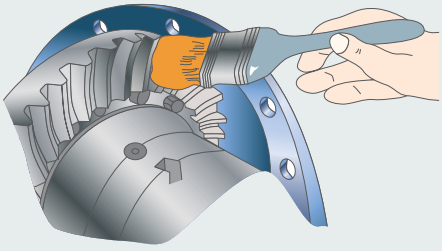
   Se pueden cambiar los rodamientos o la corona.

   Montar el conjunto y ajustar la precarga de los rodamientos (colocando cada separador 2 y 4 donde se encontraban antes de desmontar) y comprobar la holgura del piñón y la corona (0,08 a 0,15 mm).

3. Comprobación del ataque correcto del piñón u corona, midiendo la huella.

   Empleando pintura sin catalizar o azul de prusia, aplicar, con un pincel una ligera capa en los dientes de la corona (figura 5.47).

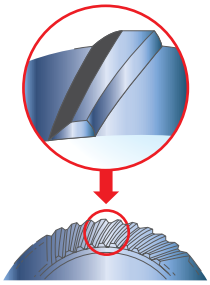
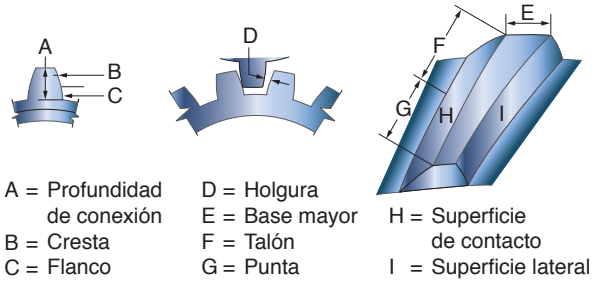
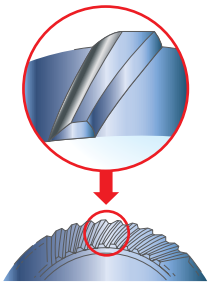
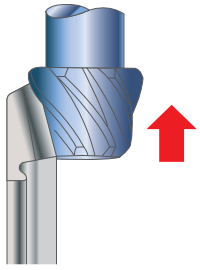
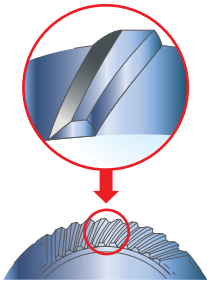
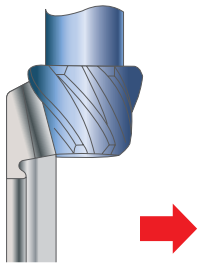
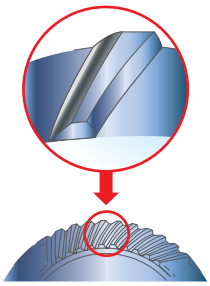
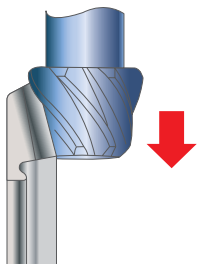
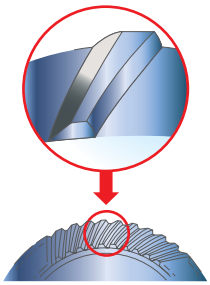
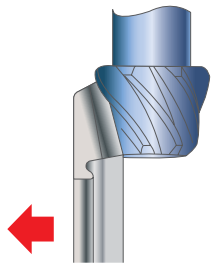
   Girar el piñón y medir la huella del contacto de los dientes del piñón sobre los dientes de la corona (figura 5.48).



↑ **Figura 5.47.** Marcar la corona.

↑ **Figura 5.48.**

En la tabla siguiente, se muestran los contactos posibles del grupo y las correcciones necesarias para realizar un buen ajuste del grupo cónico.

Contacto en el diente	Marca	Corrección del defecto
Contacto correcto La marca se encuentra centrada sobre el diente		 A = Profundidad de conexión B = Cresta C = Flanco D = Holgura E = Base mayor F = Talón G = Punta H = Superficie de contacto I = Superficie lateral
Excesivo contacto en el flanco del diente		Alejar el piñón respecto de la corona y a continuación aproximar la corona al piñón a fin de regular la holgura 
Excesivo contacto en el talón del diente		Aproximar la corona al piñón y alejar a continuación el piñón respecto de la corona, a fin de regular la holgura 
Excesivo contacto de la parte superior o cresta del diente		Aproximar el piñón a la corona y, a continuación, alejar la corona del piñón, a fin de regular la holgura 
Excesivo contacto de la punta del diente		Alejar la corona respecto del piñón y a continuación aproximar el piñón a la corona, a fin de regular la holgura 

↑ **Tabla 5.4.**

ACTIVIDADES FINALES

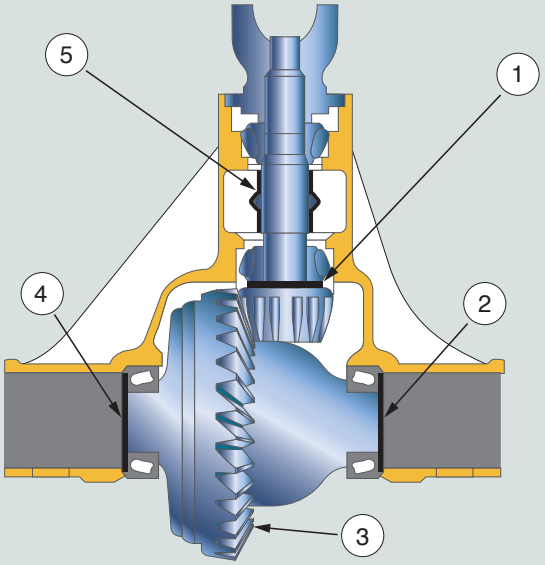
1. En un grupo reductor con 19 dientes en el piñón helicoidal del eje secundario de la caja de cambios y 67 dientes en la rueda helicoidal que se acopla al diferencial:
   - Calcula la relación de transmisión (*Rt*) del grupo.
   - Realiza un croquis del grupo indicando cada pieza.
   - Indica en qué tipo de transmisión se monta.
   - Calcula el número de dientes que deberá tener el piñón para conseguir una relación de transmisión de 3,35/1.

2. Explica el funcionamiento del diferencial Torsen.

3. ¿Qué tipo de bloqueo del diferencial es más apropiado para los siguientes vehículos?
   - Automóvil.
   - Tractor agrícola.
   - Camión pesado.
   - Motocicleta.

   Razona tu respuesta.

4. Nombra en tu cuaderno los componentes del siguiente grupo cónico:



↑ **Figura 5.49.**

5. Explica la misión del grupo reductor en el mecanismo de transmisión de un vehículo.

6. Explica cómo realizarías la verificación y reglaje de un grupo cónico trasero.

EVALÚA TUS CONOCIMIENTOS

Resuelve en tu cuaderno o bloc de notas

1. ¿Dónde se sitúa el grupo reductor en un automóvil?

a. Entre el embrague y la caja de cambios.

b. A la salida de la caja de cambios y antes del diferencial.

c. Entre la caja de cambios y el árbol de transmisión.

d. A la salida del diferencial.

2. ¿Qué misión realiza el grupo reductor?

a. Multiplicar el par de salida de la caja.

b. Multiplicar las rpm de salida de la caja de cambios.

c. Reduce el par de salida de la caja de cambios.

d. Ayuda a reducir de velocidad a la caja de cambios.

3. La relación de transmisión de un grupo reductor se calcula:

a. $Rt_{gt} = \frac{\text{Z del piñón conducido}}{\text{Z del piñón conductor}}$

b. $Rt_{gt} = \frac{\text{Z del piñón conductor}}{\text{Z del piñón conducido}}$

4. El grupo reductor en el puente trasero lo forman:

a. El diferencial y los palieres.

b. El piñón de ataque y el diferencial.

c. La corona, el diferencial y los palieres.

d. El piñón de ataque y la corona.

5 ¿Qué útil se emplea para medir la holgura del piñón de ataque y la corona de un grupo cónico?

a. El calibre.

b. El micrómetro.

c. Las galgas de espesores.

d. El reloj comparador.

6. La relación de transmisión del grupo, ¿a cuántas velocidades afecta en la relación de transmisión final?

a. A la primera velocidad.

b. A la quinta velocidad.

c. Solamente a las velocidades de marcha adelante.

d. A todas las velocidades.

7. ¿Qué misión realiza el diferencial?

a. Repartir el par a los semiárboles solamente.

b. Repartir el par a los semiárboles y compensar las diferencias de giro de las ruedas.

c. Reducir el par de la caja y repartirlo a los semiárboles.

d. Compensar las diferencias de giro al tomar una curva.

8. ¿En qué elemento del diferencial actúa el bloqueo?

a. En los satélites.

b. En la corona.

c. En el piñón.

d. En un planetario y fijándolo a la carcasa.

9. Los ruidos en los engranajes, conjunto piñón-corona, pueden ser provocados principalmente por:

a. Elevado desgaste del cambio.

b. Excesiva o incorrecta holgura entre el piñón y la corona.

c. Exceso de lubricación.

d. Precarga excesiva en los rodamientos del diferencial.

10. ¿Qué holgura aproximada tiene el piñón de ataque y la corona de un grupo cónico?

a. Entre 0,08 y 0,15 mm.

b. Entre 0,8 y 1,5 mm.

c. Entre 8 y 10mm.

d. Ninguna.

PRÁCTICA **PROFESIONAL**

HERRAMIENTAS

- Herramientas manuales del taller de electromecánica

MATERIAL

- Puente trasero o vehículo con puente
- Útiles de reglaje del grupo

Desmontaje y reglaje de un grupo cónico de un puente trasero

OBJETIVOS

Aprender a realizar el desmontaje del grupo cónico de su puente y realizar el reglaje de la holgura del piñón con la corona y la precarga de los rodamientos cónicos.

PRECAUCIONES

- Para elevar el vehículo, colocar bien las patas en los puntos de elevación del vehículo.
- Extraer el aceite del grupo y depositarlo en un recipiente adecuado para volver a emplearlo o reciclarlo.
- Emplear guantes para protegerse de los golpes y del contacto con el aceite.

DESARROLLO

Los grupos cónicos formados por un piñón de ataque y corona tienen una holgura de montaje para compensar las dilataciones que sufren con el aumento de la temperatura.

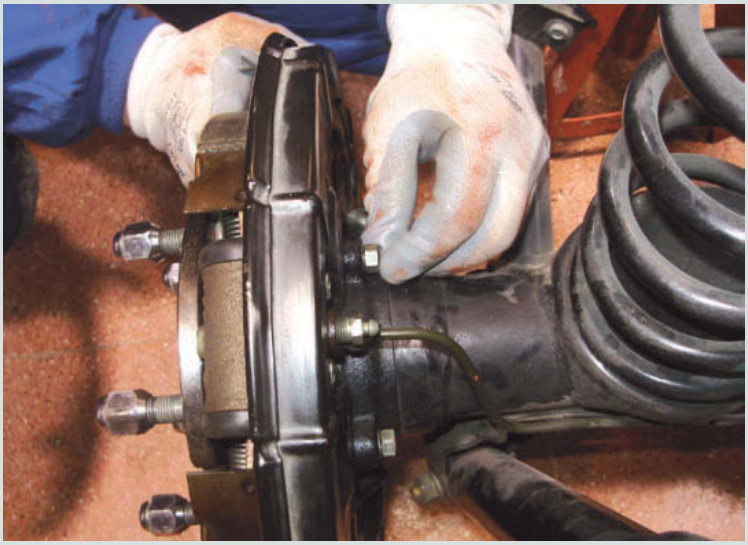
1. Aflojar el tornillo de drenaje del puente y extraer el aceite del grupo.
2. Aflojar los tornillos de fijación del árbol de transmisión con el piñón de ataque del puente (figura 5.50). Extraer el árbol de transmisión marcando la posición del árbol con el piñón (figura 5.51).

↑ **Figura 5.50.** Desmontar el árbol de transmisión del puente.

↑ **Figura 5.51.** Puente trasero.

3. Para poder extraer el conjunto del puente trasero, es necesario extraer los palieres de los estriados de los planetarios del diferencial. Para ello, se quitan las dos ruedas, el tambor de frenos (figura 5.52) y los tornillos de fijación de la chapa soporte del rodamiento (figura 5.53).

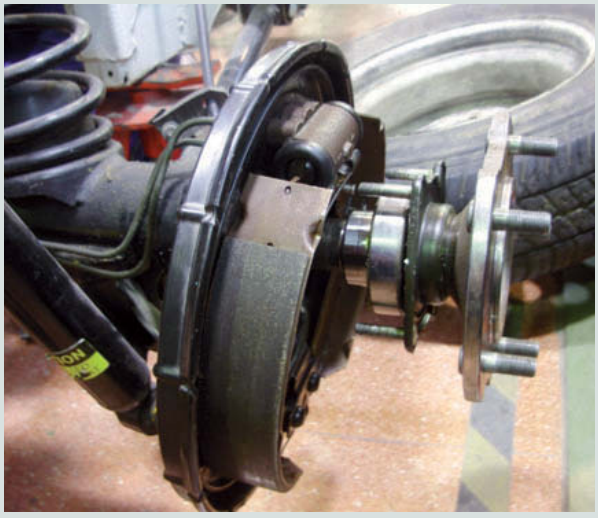
↑ **Figura 5.52.** Tambor de frenos desmontado.



↑ **Figura 5.53.** Tornillos de fijación de la chapa soporte del rodamiento.

4. Con los tornillos de fijación sueltos, se pueden separar la chapa portazapatas y extraer los palieres (figura 5.54).

5. Quitar todos los cuatro tornillos de la rótula del centrado del puente y los tornillos de fijación del conjunto piñón corona y diferencial de la carcasa del puente (figura 5.55).



↑ **Figura 5.54.** Extraer los palieres.

↑ **Figura 5.55.** Quitar los tornillos de fijación al puente.

PRÁCTICA **PROFESIONAL** (cont.)

6. Con todos los tornillos sueltos, el grupo se puede extraer del puente (figura 5.56).

7. Montar en un tornillo de banco el grupo y desmontar los sombreretes de los rodamientos de la corona (figura 5.57).

↑ **Figura 5.56.** Extraer el grupo.

↑ **Figura 5.57.** Corona del grupo cónico.

8. Con el grupo desmontado, comprobar el estado de las pistas de los rodamientos figura 5.58, corona con diferencial y piñón de ataque.

↑ **Figura 5.58.** Pista del rodamiento.

↑ **Figura 5.59.** Conjunto corona y diferencial.

9. El montaje se inicia con el piñón de ataque, colocando un casquillo deformable nuevo (figura 5.60). La arandela de la altura del piñón cota «S» no es necesario cambiarla, el piñón no se ha sustituido, el tornillo del piñón de ataque se aprieta y se mide el par de rodadura del conjunto 2N·m aproximadamente empleando una dinamométrica (figura 5.61). Si el tornillo se aprieta

demasiado y el par de rodadura es superior a los 2 N·m, no se puede aflojar, es necesario desmontar y colocar un nuevo casquillo deformable y apretar hasta alcanzar el par de rodadura indicado.

↑ **Figura 5.60.** Casquillo deformable del piñón de ataque.

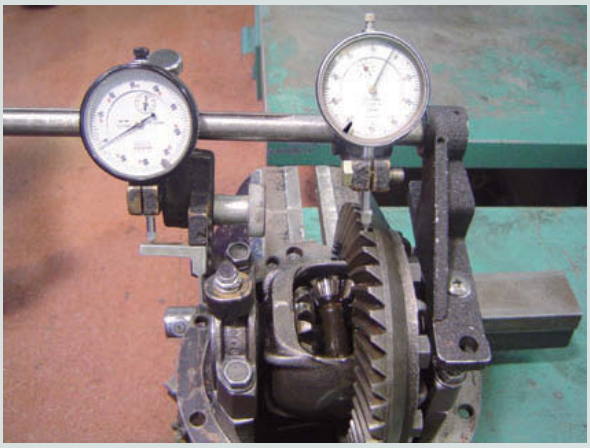
↑ **Figura 5.61.** Par de rodadura del piñón.

10. Montar la corona y diferencial, los tornillos de los sombreretes se aprietan al par con la dinamométrica (figura 5.62).
11. Colocar los dos relojes comparadores en sus soportes (figura 5.63), el reloj de la izquierda se emplea para medir la precarga de los rodamientos, con el desplazamiento del sombrerete, precarga 0,05 mm.

    El reloj de la derecha mide la holgura de la corona con el piñón 0,08 a 0,15 mm.

    El reglaje del grupo es correcto cuando tenemos una holgura en la corona y piñón entre 0,08 a 0,15 mm y a su vez, los rodamientos cónicos se encuentran apretados con su precarga 0,05 mm de desplazamiento del sombrerete (reloj izquierda, figura 5.63).

↑ **Figura 5.62.** Apretar tornillos de las semituercas o sombreretes.



↑ **Figura 5.63.** Relojes de precarga y holgura.

MUNDO **TÉCNICO**

El diferencial en la fórmula GP 2

Artículo de M.A. Rovira

Para que un equipo de competición obtenga los mejores resultados, lo primero que tiene que tener son buenos pilotos, pero no solo con buenos pilotos se gana un campeonato, se necesita un equipo que de cobertura a esos pilotos de alto nivel, desde el camionero, que conduce varias jornadas sin parar, pasando por los mecánicos que no nos podemos permitir ni un solo fallo, hasta los ingenieros que son los culpables de poner en pista un coche con un setup, capaz de sacar el máximo rendimiento al conjunto coche/piloto.

En un campeonato mono marca las únicas modificaciones permitidas entre unos coches y otros son los reglajes, llamado setup. El motor es el mismo para todos.

El setup de un GP2 tiene una infinidad de reglajes: geometrías, relaciones de cambio, diferencial, aerodinámica, frenos, etc. En cada circuito se lleva un setup base, que se realiza en casa, y se hace específicamente para cada circuito, teniendo en cuenta datos de años anteriores, de simulación o de banco de pruebas.

El fin de semana de carrera comienza el viernes, donde se tiene media hora de entrenamientos libres. Después viene la Clasificación, donde el coche sale con un Setup diferente, decidido por el piloto y el ingeniero, por las sensaciones del piloto, y por la información analizada de la adquisición de datos de los libres.

Por ejemplo: el piloto comenta que tiene sobreviraje en la salida de la curva, esto se puede corregir aumentando el bloqueo de diferencial en aceleración, o combinando más caras de fricción… (un diferencial con un bloque excesivo provoca subviraje, el coche tiende a irse del morro en las curvas, y un diferencial con poco bloqueo provoca que el coche sobrevire). Lo ideal es tener un coche neutro, pero hay pilotos que para clasificación prefieren tener un coche sobrevirador.

Lo primero que se ajusta en un diferencial autoblocante, es la precarga de bloqueo, esta precarga determina el bloqueo inicial, después se ajusta si se quiere más bloqueo en aceleración o en retención, esto se consigue variando las rampas de apoyo de los satélites, y por último las caras de fricción que varían el aumento del bloqueo al trabajar las rampas.

Los reglajes del diferencial en ocasiones son distintos para la clasificación y los empleados finalmente en la carrera, ya que con el setup de clasificación los neumáticos duran cuatro vueltas. En carrera necesitamos un setup donde las ruedas aguanten treinta vueltas, que es lo que dura la carrera de GP2.

Fuente: Miguel Ángel Rovira Huelamo. Mecánico del equipo Barwa addax GP2 campeón en el 2011

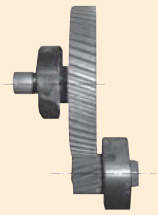
↑ **Figura 5.64.** Diferencial autoblocante de GP2.

EN **RESUMEN**

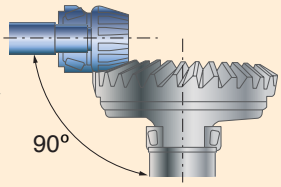
GRUPO REDUCTOR → Multiplica el par de transmisión reduciendo las revoluciones por minuto de salida y transmite el par al diferencial

TIPOS

- **Piñones helicoidales** → Ejes de entrada y salida paralelos



- **Piñón de ataque y corona** → Ejes de entrada y salida a 90º



$$Rt_{gr} = \frac{\text{N.º de dientes del piñón conducido (Corona)}}{\text{N.º de dientes del piñón conductor (Piñón)}}$$

DIFERENCIAL →

- Reparte el par que recibe a los semiárboles
- Compensa las diferencias de giro entre los semiárboles al tomar una curva

TIPOS

- **Convencional, dentado recto o helicoidal**
- **Con bloqueo manual**
- **Autoblocante de discos**
- **Autoblocante de conos**
- **Torsen** → Reparte el par en función de la adherencia del neumático al suelo

MANTENIMIENTO → **Aceite**

- Nivel
- Sustitución

entra en internet

1. En las páginas web de los fabricantes de vehículos y componentes encontrarás información detallada de los diferenciales que emplean sus modelos, como por ejemplo:
   - <www.traccionintegral.com/diferencialhaldex.htm>

6 La transmisión 4x4, árboles y semiárboles

vamos a conocer...

1. Reparto de par en los vehículos 4x4
2. Transmisión 4x4 en automóviles y vehículos todoterreno
3. Árboles de transmisión
4. Juntas universales cardán
5. Semiárboles de transmisión
6. Mantenimiento en transmisiones 4x4
7. Diagnóstico de averías y reparación en la transmisión 4x4

PRÁCTICA **PROFESIONAL**

Cambiar una transmisión (semiárbol) delantera
Cambiar una cruceta del árbol de transmisión

MUNDO **TÉCNICO**

Prueba de contacto: Subaru Impreza WRX STI 2011

y al finalizar esta unidad...

- Conocerás las ventajas de la transmisión 4x4 y los principios de funcionamiento que se emplean.
- Estudiarás los conjuntos mecánicos que componen y forman las transmisiones 4x4: cajas de transferencia, diferenciales repartidores y acoplamientos Haldex, X-drive, Ferguson.
- Conocerás los árboles y semiárboles de transmisión (más empleados), la junta cardán y las homocinéticas.
- Aprenderás a realizar el mantenimiento y las reparaciones más comunes en los elementos de transmisión.

CASO **PRÁCTICO** INICIAL

situación de partida

Los profesores y alumnos del ciclo de electromecánica del IES San Juan Bosco de Lorca de la comunidad de Murcia, han decidido participar en el concurso de jóvenes técnicos en automoción, que organiza la Fundación COMFORP (compromiso con la formación profesional). En la primera fase del concurso los alumnos tienen que realizar un trabajo de investigación sobre un tema que la organización ha propuesto **«La transmisión 4x4».**

En las reuniones de coordinación el profesor tutor D. Gustavo J. reparte las tareas entre los dos alumnos que prepararán el trabajo y que representarán al centro en el concurso.

Isaac se encargará de buscar documentación en páginas web y libros de texto y Pedro visitará los servicios oficiales y preguntará a los responsables post-venta y jefes de taller sobre el funcionamiento básico y averías más frecuentes de los vehículos equipados con transmisiones 4x4.

En la visita al concesionario Seat, el jefe de ventas resuelve las dudas que Pedro le plantea, le informa que el modelo más representativo 4x4 de la marca es el **Altea freetrack** un modelo 4x4 **SUV** *(Sport Utility Vehicle)* que emplea un embrague multidisco electro-hidráulico **Haldex** para transmitir motricidad a las ruedas traseras de forma proporcional a las condiciones de la circulación.

En el concesionario Mercedes-Benz, le informan de que el sistema de tracción 4x4 empleado por Mercedes-Benz es una transmisión permanente y asimétrica denominada **4Matic** sin gestión electrónica. La transmisión 4Matic emplea un tren epicicloidal como diferencial repartidor y un paquete de discos pretensado, como elemento de bloqueo del diferencial repartidor.

En Citroën, el jefe de taller le comenta que su modelo 4x4 es el **C-Crosser,** un modelo SUV que emplea un embrague multidisco con gestión eléctrica en el eje trasero. El embrague multidisco tiene la posibilidad de controlarlo desde el habitáculo con un selector de tracción con tres posiciones 2WD; 4WD y LOCK. Este sistema lo emplean también Peugeot y Mitsubishi en sus modelos tipo SUV.

En BMW sus modelos 4x4 disponen de propulsión trasera permanente y disponen de un repartidor con un paquete de discos gestionado eléctricamente denominado **Xdrive.** El repartidor acopla la transmisión al eje delantero en las situaciones que la gestión electrónica tenga programada.

Con la información recopilada en las concesiones, complementada con la de páginas web y libro el equipo murciano preparará su trabajo para el concurso.

estudio del caso

Antes de empezar a leer esta unidad de trabajo, puedes contestar las dos primeras preguntas. Después, analiza cada punto del tema, con el objetivo de contestar al resto de las preguntas de este caso práctico.

1. ¿Qué ventajas tiene un vehículo 4x4?
2. ¿Crees que un vehículo 4x4 consume más combustible que un 4x2? Razona tu respuesta.
3. De los cuatro sistemas de tracción 4x4 que a Pedro le han explicado ¿cuál te parece más completo?
4. ¿Qué sistema de tracción 4x4 no dispone de gestión electrónica?

1. Reparto de par en los vehículos 4x4

recuerda

El los vehículos con ruedas motrices en el eje delantero se denomina tracción delantera.

Cuando el eje motriz es el eje trasero se denomina **propulsión trasera.**

En los vehículos con dos ruedas motrices (4x2), todo el par que es capaz de generar el motor se transmite y reparte a las dos ruedas motrices, pueden ser las delanteras o traseras. Las otras dos ruedas del vehículo, por lo tanto, son arrastradas o empujadas.

En un vehículo con dos ruedas motrices, si la potencia que se desea transmitir no es elevada y las condiciones de adherencia de los neumáticos con el terreno son buenas, el vehículo se comportará con normalidad, lo que permitirá al conductor del vehículo circular con seguridad y aprovechar la potencia del motor.

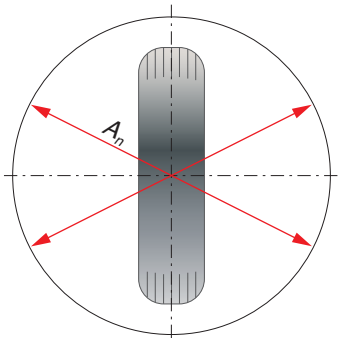
Sin embargo, no tendrá el mismo comportamiento el vehículo 4x2 si la adherencia del neumático con el terreno disminuye o si la potencia que se transmite aumenta; si esto ocurre, las ruedas motrices podrán superar el límite de adherencia y resbalar, perdiendo la tracción.

El valor de adherencia del neumático (A_n) es el producto del coeficiente del rozamiento (μ) entre el neumático y el terreno, multiplicado por el peso del vehículo que recae sobre cada neumático (P_{rueda}).

$$A_n = \mu \cdot P_{rueda}$$

Velocidad de marcha km/h	Estado de los neumáticos	Estado de la carretera				
		Seca	Mojada (aprox. 0,2 mm de agua)	Lluvia fuerte (aprox.1 mm de agua)	Encharcada (aprox.2 mm de agua)	Helada
Coeficiente de adherencia μ						
50	Nuevos	0,85	0,65	0,55	0,5	Igual o inferior a 0,1
	Gastados	1	0,5	0,4	0,25	
90	Nuevos	0,8	0,6	0,3	0,05	
	Gastados	0,85	0,2	0,1	0,05	
130	Nuevos	0,75	0,55	0,2	0	
	Gastados	0,9	0,2	0,1	0	

↑ **Tabla 6.1.** Coeficiente de adherencia de neumáticos.



↑ **Figura 6.1.** Representación gráfica del círculo de la adherencia del neumático.

El coeficiente de adherencia μ, como se puede observar en la tabla 6.1, depende de la velocidad, del desgaste del neumático y del estado de la calzada.

La adherencia del neumático al suelo (A_n) se puede considerar como una fuerza o resistencia al rozamiento; esta fuerza se opone al deslizamiento, está presente en todas las direcciones y se representa simbólicamente como un círculo que rodea al neumático (figura 6.1).

Cuando las fuerzas que actúan sobre el neumático se encuentran dentro del círculo, el neumático no resbalará y traccionará con normalidad. Si, por el contrario, la fuerza o resultante de las fuerzas sobrepasa el círculo, que representa la adherencia, el neumático patinará, perdiendo tracción y direccionabilidad.

La propulsión total (4x4) reparte el par disponible del motor entre las cuatro ruedas, mejorando la capacidad propulsora y la seguridad de comportamiento en cualquier circunstancia y de un modo muy especial en las curvas.

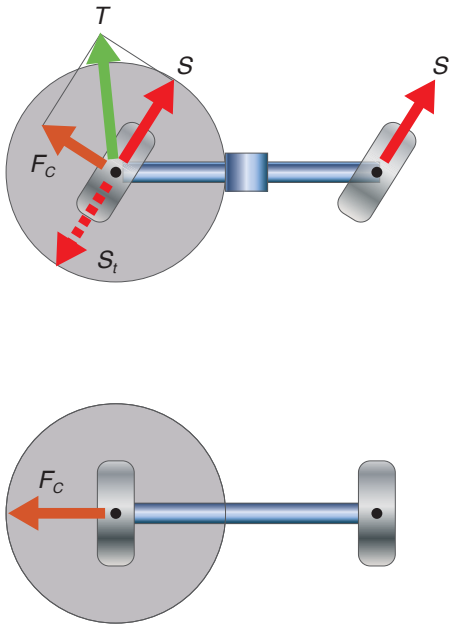
En un vehículo 4x2, todo el par del motor se transmite a las ruedas impulsoras (figura 6.2). En condiciones de baja adherencia y en curvas, la fuerza resultante T puede llegar a salirse del círculo de adherencia del neumático y derrapar.

En un vehículo 4x4 y con el mismo par, la fuerza que impulsan las ruedas se reparte en las cuatro ruedas y la fuerza de empuje S_1 es la mitad que la fuerza de empuje S del 4x2, en consecuencia, las resultantes T_1 y T_2 son menores y quedan incluidas en el círculo que representa la adherencia del neumático sin resbalamientos (figura 6.3).

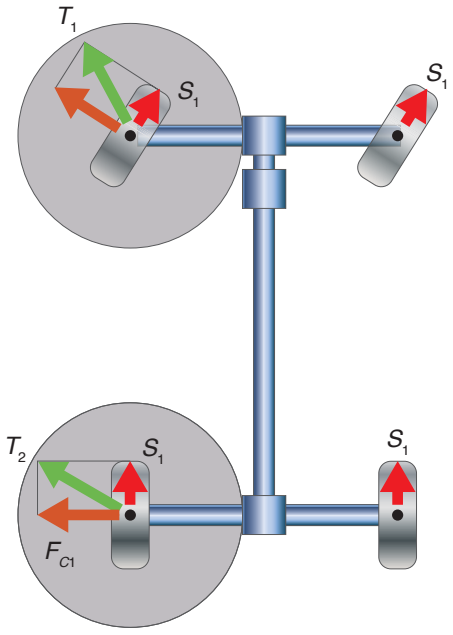
En resumen: un vehículo que disponga de propulsión a las cuatro ruedas aprovecha más la potencia disponible del motor y puede circular y trabajar mejor en terrenos y superficies de baja adherencia (arena, barro, nieve, etc.).

caso práctico inicial

La mayoría modelos 4x4 estudiados en los concesionarios reparten el par de forma asimétrica entre los dos ejes propulsores, algunos modelos gestionados electrónicamente, incluso son capaces de modificar el reparto del par dependiendo de las condiciones de marcha, velocidad, resbalamiento de las ruedas, posición del volante, etc.



↑ **Figura 6.2.** Vehículo de dos ruedas motrices.



↑ **Figura 6.3.** Vehículo de cuatro ruedas motrices.

ACTIVIDADES

1. Realiza una tabla con los vehículos que conozcas y el sistema de tracción de que dispongan de serie.

Ejemplo:

Modelo	Sistema de transmisión
Seat Alhambra	4x2 tracción delantera, opción 4x4 con Haldex
●●●	●●●

↑ **Tabla 6.2.**

2. Transmisión 4x4 en automóviles y vehículos todoterreno

recuerda

En 1980, el fabricante de automóviles Audi presentó en el salón del automóvil de Ginebra el Audi Quattro, el primer automóvil de grandes series equipado con un novedoso sistema de tracción total permanente.

Los automóviles con tracción 4x4 se popularizan en la década de los ochenta por los éxitos deportivos de estos vehículos en el mundial de rallys, en concreto en 1982, el piloto alemán Walter Rohrl, con un Audi Quattro 5 cilindros, gana el campeonato mundial de rallys, desbancando a vehículos más potentes de dos ruedas motrices. Dos años después, en 1984, repite triunfo en el mundial de rallys, lo que supone la consolidación definitiva de este tipo de transmisión en competición, como en la producción de vehículos en serie.

↑ **Figura 6.4.** Audi Quattro 5 cilindros turbo (grupo B).

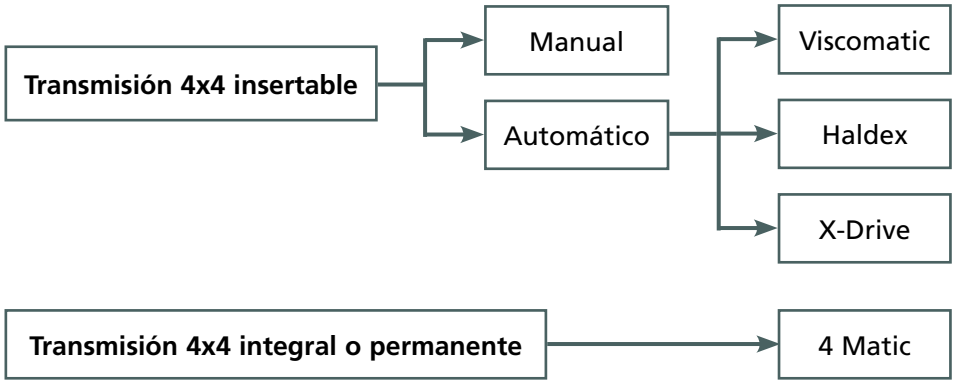
caso práctico inicial

Los sistemas de transmisión del Citroën Crosser se encuentran dentro del grupo de 4x4 insertable de forma automática o manual, dependiendo de la posición del selector 2WD; tracción en las ruedas delanteras, 4WD tracción a las cuatro ruedas con un acoplamiento con discos y gestión eléctrico y electrónica que permite un reparto de par asimétrico entre los dos ejes y LOCK 4x4 permanente fijo 50-50.

En los automóviles, desde la época del Audi Quattro hasta la actualidad, se han montado distintos tipos de transmisión 4x4; su diseño ha evolucionado y mejorado. Los primeros vehículos 4x4 disponían de reparto de par fijo, 50 eje delantero, 50 eje trasero y un mecanismo de bloqueo del diferencial repartidor con acoplamiento manual, los últimos modelos 4x4 disponen de dispositivos controlados electrónicamente capaces de adaptar el reparto del par a la velocidad del vehículo y a las condiciones de adherencia del terreno.

En los vehículos todo terreno 4x4, el pionero fue Jeep, con el modelo Willys, que se fabricó para el ejército americano y poco después se comercializó para uso civil.

Las transmisiones 4x4 se pueden agrupar del siguiente modo:



2.1. Transmisión 4x4 manual

La transmisión 4x4 permite un mejor y más adecuado reparto de par. Sin embargo, tiene el inconveniente de estar constituida por un mayor número de piezas en movimiento que generan, a su vez: mayores rozamientos, aumento de consumo de combustible y pérdidas de potencia.

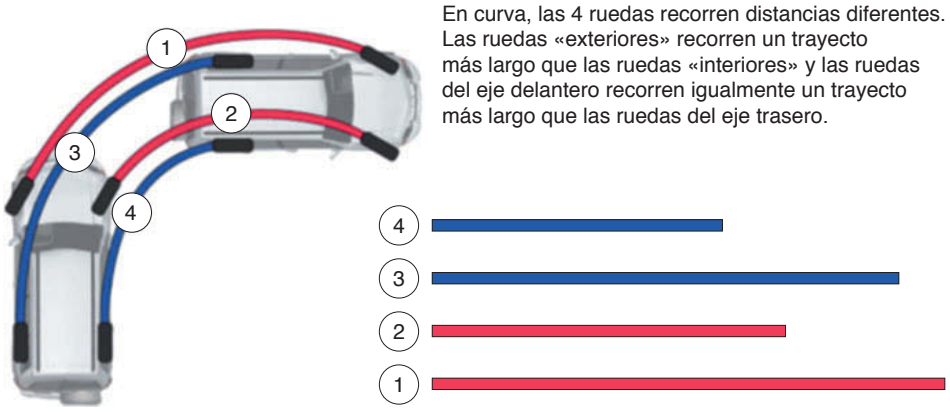
Las transmisiones 4x4 se han desarrollado partiendo de modelos con transmisión delantera o trasera a las que se acoplan los elementos mecánicos necesarios para poder transmitir el par a los dos ejes.

Una vez acoplados los dos ejes, la unión entre ellos no puede ser rígida, el acoplamiento debe disponer de un dispositivo repartidor, diferencial central, que compense las diferencias de giro entre ejes que se producen al tomar las curvas.

Si el vehículo no dispone de este diferencial central, al tomar una curva se producirá el deslizamiento o arrastre de las ruedas.

recuerda

En la unidad 5 y en la figura 4.14 aparece representado un modelo 4x4 con un diferencial central compensador de las diferencias de giro en los eje delantero y trasero.



↑ **Figura 6.5.** Distancias que recorren las ruedas al tomar una curva.

2.2. Propulsión trasera y tracción delantera acoplable

Esta disposición se emplea en vehículos todoterreno pequeños. La transmisión permanece acoplada de forma permanente en el eje trasero y, en condiciones de baja adherencia, se puede acoplar manualmente la tracción delantera (figura 6.8). En algunos modelos clásicos, se montan cubos de rueda libre en las ruedas delanteras (figura 6.7). El cubo de rueda libre permite acoplar la transmisión a las ruedas delanteras 4x4. Al desbloquear el acoplamiento de rueda se suelta el cubo de rueda libre y permite circular en 4x2. Al liberar el cubo de rueda libre, se evita que giren los componentes mecánicos de la transmisión del eje delantero. El acoplamiento puede ser manual o automático (figura 6.7).

El vehículo dispone de una caja de transferencia que transmite el par al árbol de transmisión delantero.

El conjunto no suele disponer de diferencial central repartidor, función que realiza la caja de transferencia, por lo que con estos vehículos la tracción total solamente funciona con eficacia a bajas velocidades y en suelos de baja adherencia.

Por lo tanto, en condiciones normales y circulando por carreteras o terrenos en buen estado, el vehículo deberá circular con la tracción delantera desacoplada 4x2.

↑ **Figura 6.6.** Tracción delantera acoplable con palanca.

↑ **Figura 6.7.** Acoplamiento 4x4 en las ruedas delanteras.

2.3. Caja de transferencia (reductora o tránsfer)

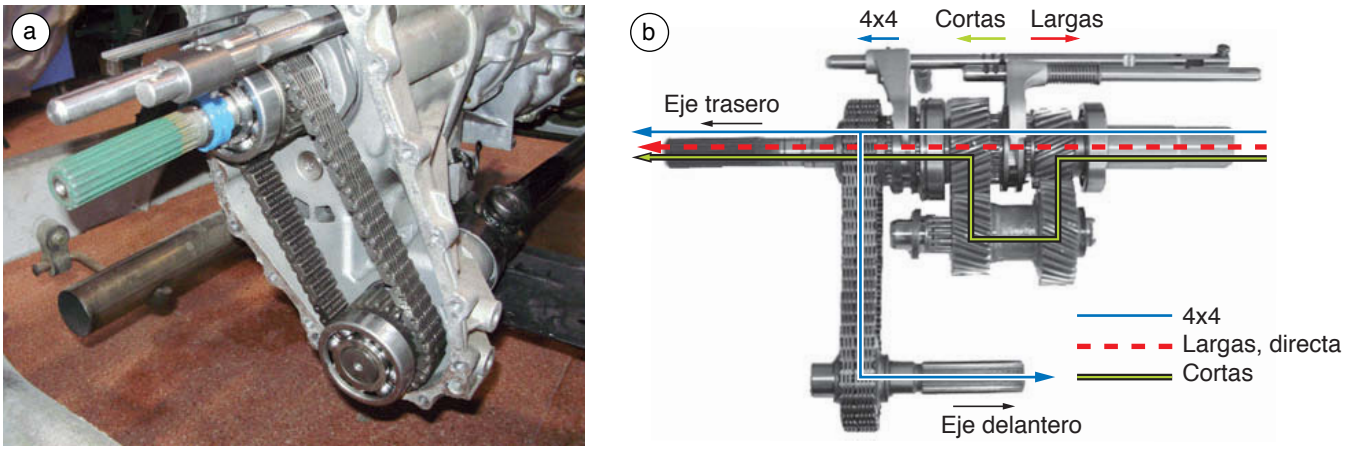
La caja de transferencia se emplea para el acoplamiento de la tracción delantera en los vehículos todo terreno. Este sistema incorpora, a su vez, una caja reductora que permite desmultiplicar más aún la reducción del cambio.

Las cajas de transferencia pueden ser de dos tipos:

- Cajas de transferencia con cadena.
- Cajas con piñones intermediarios.

La caja de transferencia con cadena se monta en el modelo Suzuki Vitara, los piñones de la cadena dentada tienen 26 dientes cada uno, con la reductora se obtienen dos relaciones de transmisión.

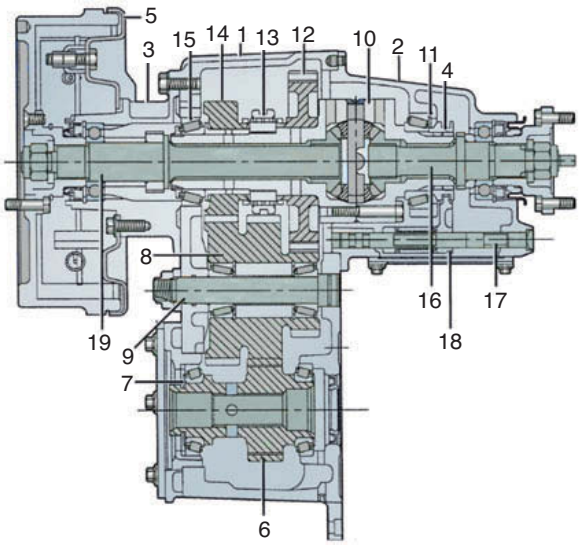
Para conseguir estas relaciones de transmisión y el acoplamiento manual de la transmisión al eje delantero, se desplazan las palancas selectoras que el vehículo que enclavan los collarines desplazables sin sincronizadores de la figura 6.8.b.



↑ **Figura 6.8.** a) Caja de transferencia con cadena. b) Caja de transferencia y cadena de transmisión en el eje delantero.

La caja de transferencia con piñones se monta en los modelos Land Rover y realizan las mismas funciones que la que emplean la cadena, en la figura. 6.9 aparece la representación y numeración de los principales componentes.

1. Cárter principal
2. Cárter de salida delantero
3. Cárter de salida trasero
4. Desplazable de garras de bloqueo
5. Freno de transmisión
6. Piñón de entrada del eje secundario
7. Separador (precarga de rodamiento de entrada)
8. Tren intermedio
9. Eje intermedio
10. Conjunto de diferencial
11. Separador (precarga de rodamiento de diferencial)
12. Piñón de corta
13. Desplazable de garras corta / larga
14. Piñón de larga
15. Rodamiento trasero de diferencial
16. Eje de salida delantero
17. Eje de selector de bloqueo
18. Horquilla de bloqueo de diferencial
19. Eje de salido trasero



↑ **Figura 6.9.** Caja de transferencia con piñones de un Discovery.

2.4. Transmisión 4x4 acoplable automáticamente

Los sistemas de tracción a las cuatro ruedas con acoplamiento automático de un eje pueden ser de dos tipos:

- Transmisión fija al eje delantero y acoplable al trasero.
- Transmisión fija al eje trasero y acoplable al eje delantero.

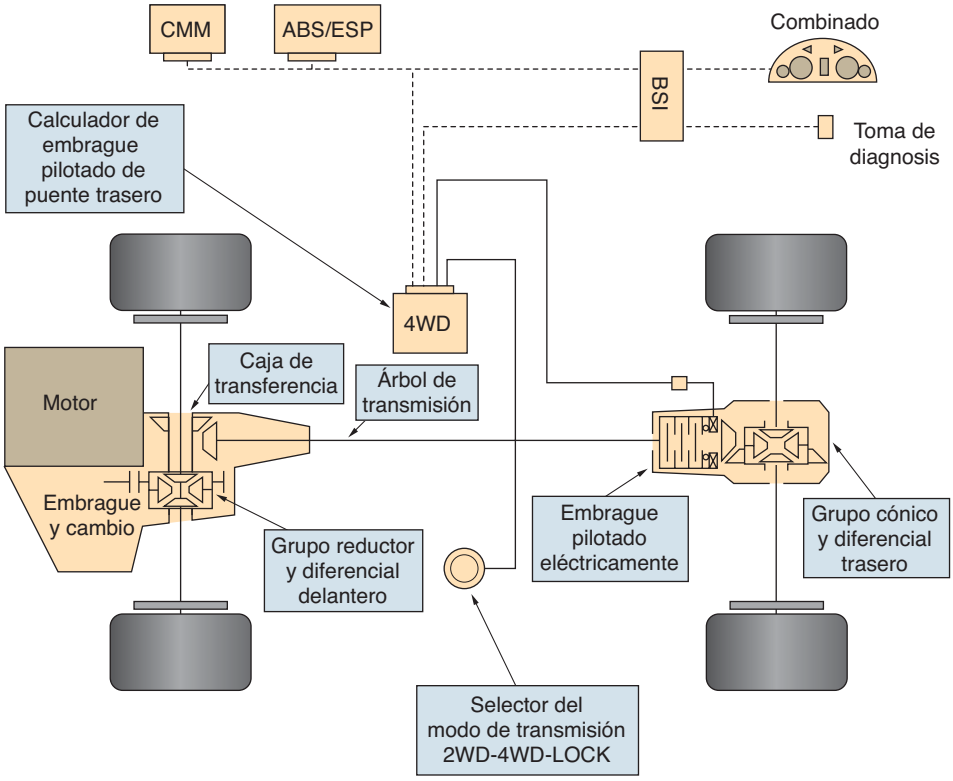
caso **práctico** inicial

Por la información que los alumnos han recopilado en los concesionarios sobre los nuevos sistemas 4x4, la tendencia mayoritaria es 4x4 acoplable de forma automática y gestionada electrónicamente.

Transmisión fija al eje delantero y acoplable al trasero

Se emplea principalmente en automóviles diseñados con tracción delantera y todo terreno pequeños. La incorporación de la gestión electrónica al embrague pilotado trasero permite el acoplamiento de la tracción al eje trasero 4x4, el embrague de discos pilotado trasero es la pieza clave del sistema y realiza las siguientes funciones:

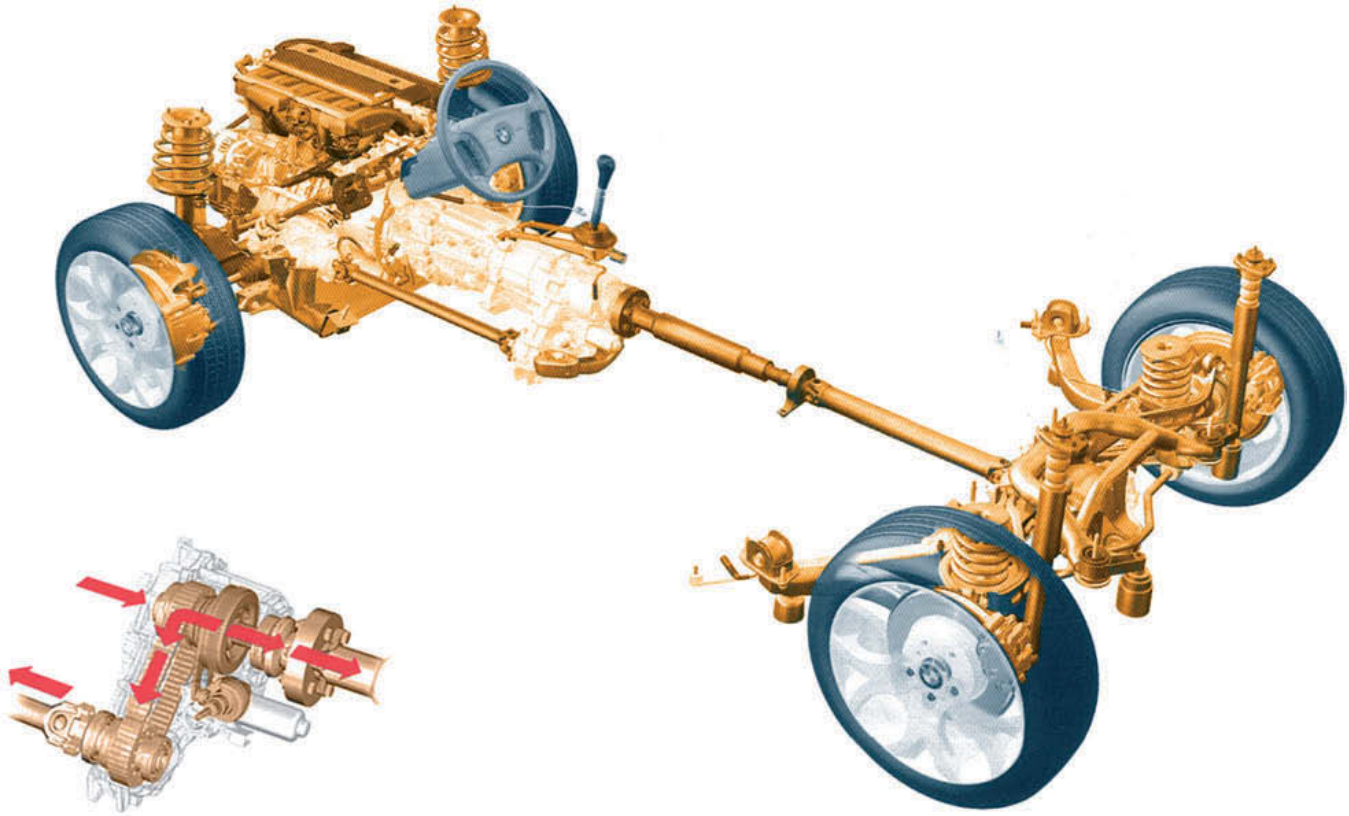
- Acoplar y desacoplar la transmisión al eje trasero.
- Función de diferencial para compensar las diferencias de giro de los dos ejes.
- Repartir el par entre los ejes de forma proporcional a los parámetros de funcionamiento del vehículo: adherencia, potencia a transmitir, ABS/ESP, etc. (figura 6.10).



↑ **Figura 6.10.** Componentes de la transmisión 4x4 con reparto de par variable.

Transmisión fija al eje trasero y acoplable al eje delantero

Este tipo de transmisión se emplea principalmente en todoterrenos, el vehículo circula normalmente con propulsión trasera pero en condiciones especiales y con baja adherencia del terreno, se acopla la tracción al eje delantero. El dispositivo de acoplamiento emplea un embrague pilotado de discos y una gestión electrónica (por ejemplo la transmisión X-Drive de BMW de la figura 6.11).



↑ **Figura 6.11.** Transmisión X-Drive de BMW.

2.5. Transmisión con acoplamiento Haldex (4Motion)

↑ **Figura 6.12.** Acoplamiento tipo X-Drive con piñones.

En los vehículos equipados con el embrague multidisco electrohidráulico (Haldex) se puede regular el porcentaje de tracción a las ruedas traseras del 0 a 50% de forma proporcional a las necesidades de tracción. La unidad electrónica gestiona el factor de patinaje propio de un sistema 4x4 añadiendo las condiciones dinámicas de circulación tales como: paso por curva, velocidad de marcha y las fases de deceleración o aceleración.

El acoplamiento Haldex de primera generación, funciona y se acopla cuando existe una diferencia de giro entre los ejes delantero y trasero, distribuyendo el par de giro proporcionalmente según las necesidades de tracción del eje trasero, aumentando o disminuyendo el porcentaje de par transmitido.

En el Haldex de cuarta generación, la activación del embrague de tracción total ya no necesita que existan diferencias de regímenes entre los ejes delantero y trasero para generar la presión y acoplarse, la presión de activación del embrague se genera con una bomba eléctrica independiente.

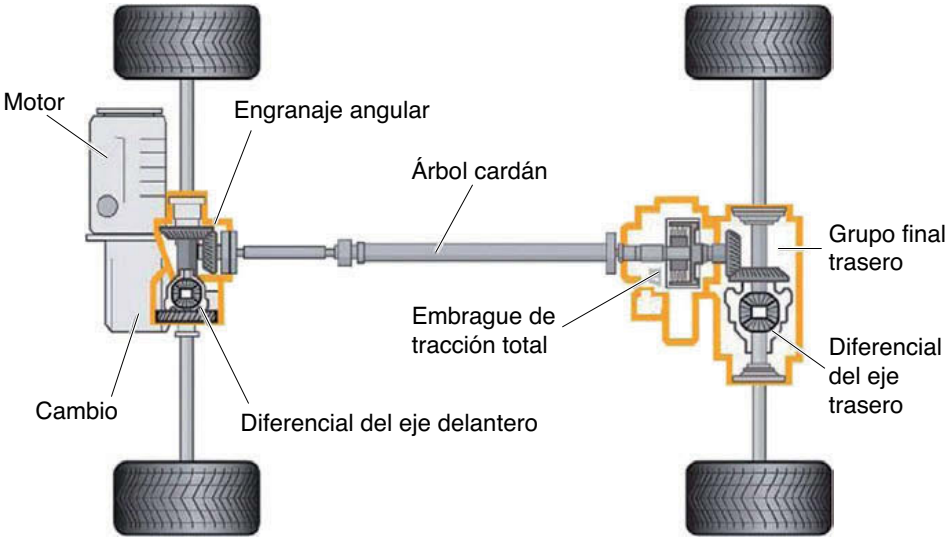
En los vehículos con acoplamiento Haldex (figura 6.13), la fuerza desde el motor es transmitida por el piñón cilíndrico sobre la jaula del diferencial hacia el árbol hueco de la caja de transferencia con corona y piñón, para terminar en el árbol cardán (figura 6.14) que se encuentra unido al embrague Haldex colocado en el eje trasero.

Cuando el vehículo circula sin acoplarse funciona con un reparto de 100% al eje delantero y 0% al eje trasero, con el Haldex acoplado el reparto es del 50% para cada eje. **El haldex controla el 50% de tracción disponible en el eje trasero.**

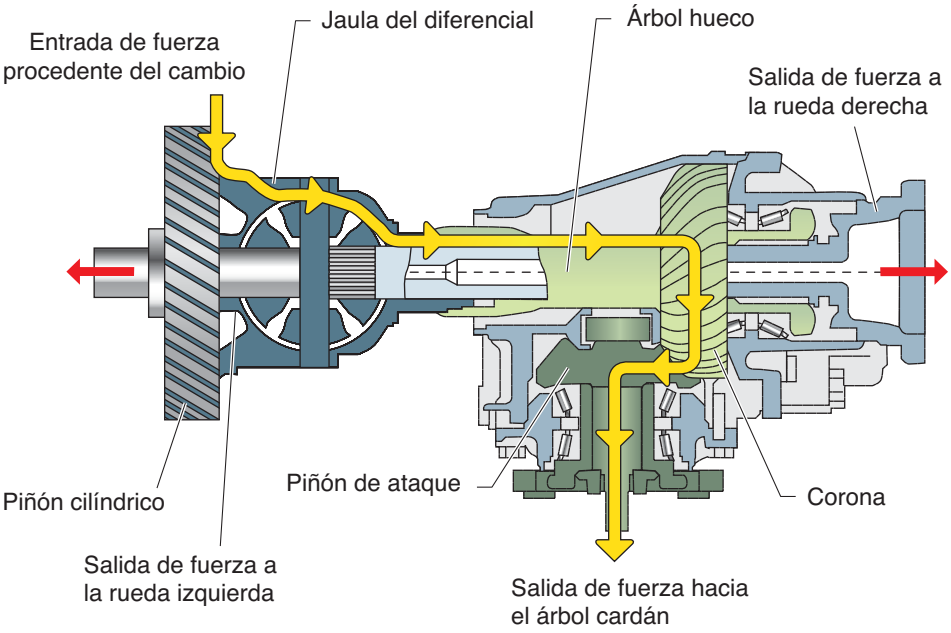
recuerda

El sistema de tracción 4MOTION reemplaza en el año 1998 a la tracción total Synchro montada por Volkswagen.

En la tracción 4MOTION se monta por primera vez un embrague de tracción total tipo Haldex.



↑ **Figura 6.13.** Componentes de la transmisión con Haldex (fuente VW).



↑ **Figura 6.14.** Caja de transferencia (fuente VW).

El sistema de acoplamiento por medio de embrague Haldex integra principalmente dos partes o conjuntos diferenciados:

- Parte mecánica.
- Parte electrohidráulica.

Componentes de la parte mecánica

Los componentes mecánicos más importantes del acoplamiento son los dos ejes que dispone. En eje de entrada dispone de una brida donde se atornilla al árbol de transmisión y en el eje de salida el piñón de ataque del grupo cónico trasero, en los acoplamientos Haldex de primera generación el piñón de ataque forma parte del acoplamiento (figura 6.15).

saber más

El embrague de tracción total montado en el eje trasero realiza dos funciones. En la primera función trabaja como diferencial compensador de las diferencias de giro en curvas del eje delantero con respecto al trasero.

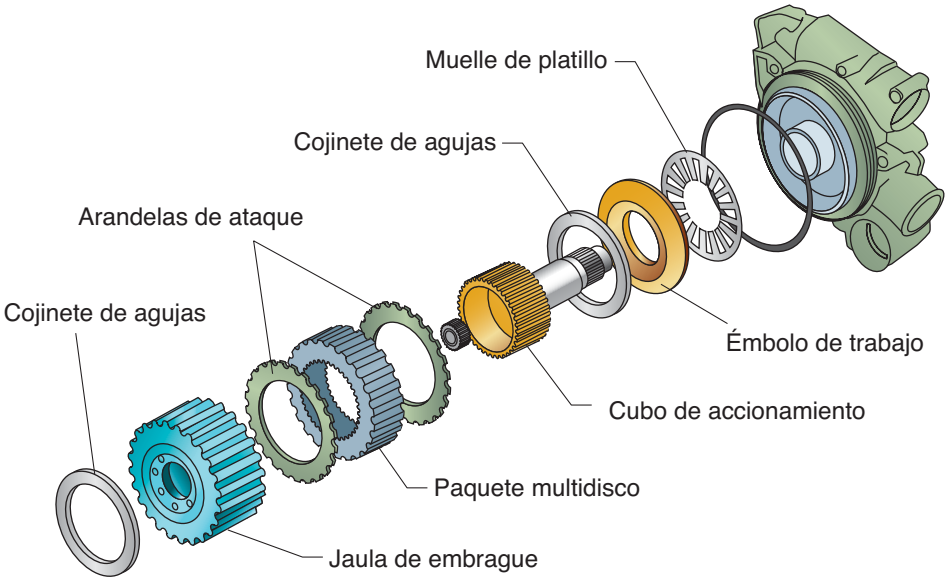
En la segunda función, reparte el par al eje trasero, según las condiciones de adherencia y necesidades de par.

↑ **Figura 6.15.** Acoplamiento Haldex de 1ª generación.

Los dos ejes se acoplan por el conjunto multidisco con sus jaulas, arandelas de ataque y el émbolo de trabajo (figura 6.16).

recuerda

El acoplamiento de discos bañados en aceite empleado por el acoplamiento Haldex, es similar al embrague de discos de las motocicletas y a los embragues empleados en las cajas de cambios automáticas.



↑ **Figura 6.16.** Componentes mecánicos del conjunto multidisco (fuente VW).

Componentes electrohidráulicos

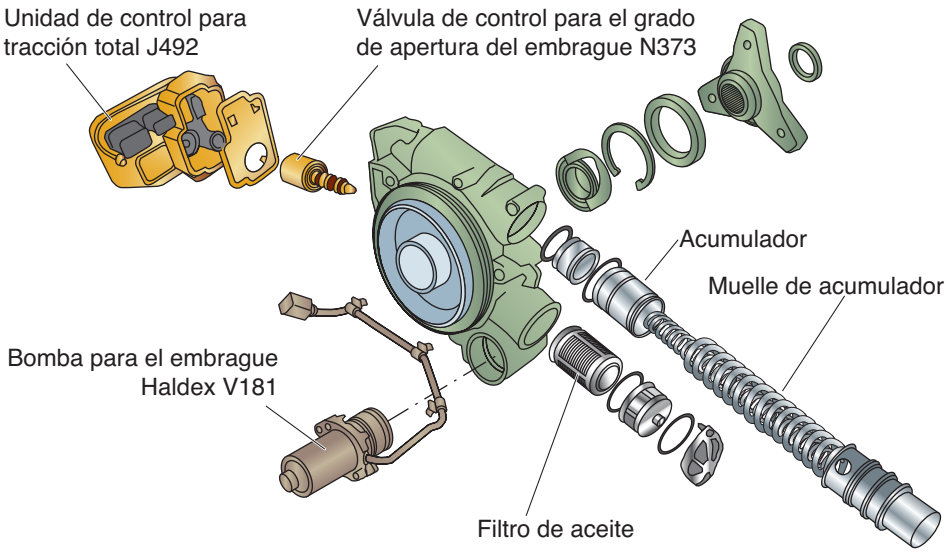
El conjunto Haldex dispone de todos los elementos que necesita un circuito hidráulico para poder funcionar.

- Depósito.
- Bomba eléctrica.
- Filtro.
- Acumulador.
- Válvula de control.

El circuito hidráulico se gestiona desde la unidad de control J 492 colocada en el propio Haldex (figura 6.17).

recuerda

En caso de avería en el acoplamiento Haldex, la válvula de control de apertura del embrague N373 ya no puede ser excitada. El embrague abre y el eje trasero deja de propulsar.



↑ **Figura 6.17.** Componentes electrohidráulicos del Haldex de 4ª generación (fuente VW).

La unidad de control para embrague de tracción total J492 se encuentra conectada a la red bus de datos CAN de la tracción.

La información del resto de módulos de gestión, motor, cambio, etc. permite que el sistema pueda ser regulado de forma exacta con solo un sensor, previo análisis de los datos relativos a las condiciones dinámicas que recibe de la red CAN. La unidad de control del Haldex determina la presión momentáneamente necesaria para adaptar de forma óptima a cualquier situación el grado de apertura y la transmisión de par del embrague de tracción total.

Si interviene un ciclo del ESP o del ABS, la unidad de control para ABS J104 determina el grado de apertura del embrague de tracción total a través de la unidad de control para tracción total J492.

recuerda

La red Can Bus, conecta las unidades de gestión del vehículo, empleando dos cables entrelazados entre sí. La red Can Bus les permite a las centralitas de los distintos circuitos (motor, cambio automático, ABS/ESP, Haldex, etc), disponer de toda la información de otros módulos (señales de captadores) que un módulo de gestión dispone y emplear esa señal en el funcionamiento de su propio circuito.

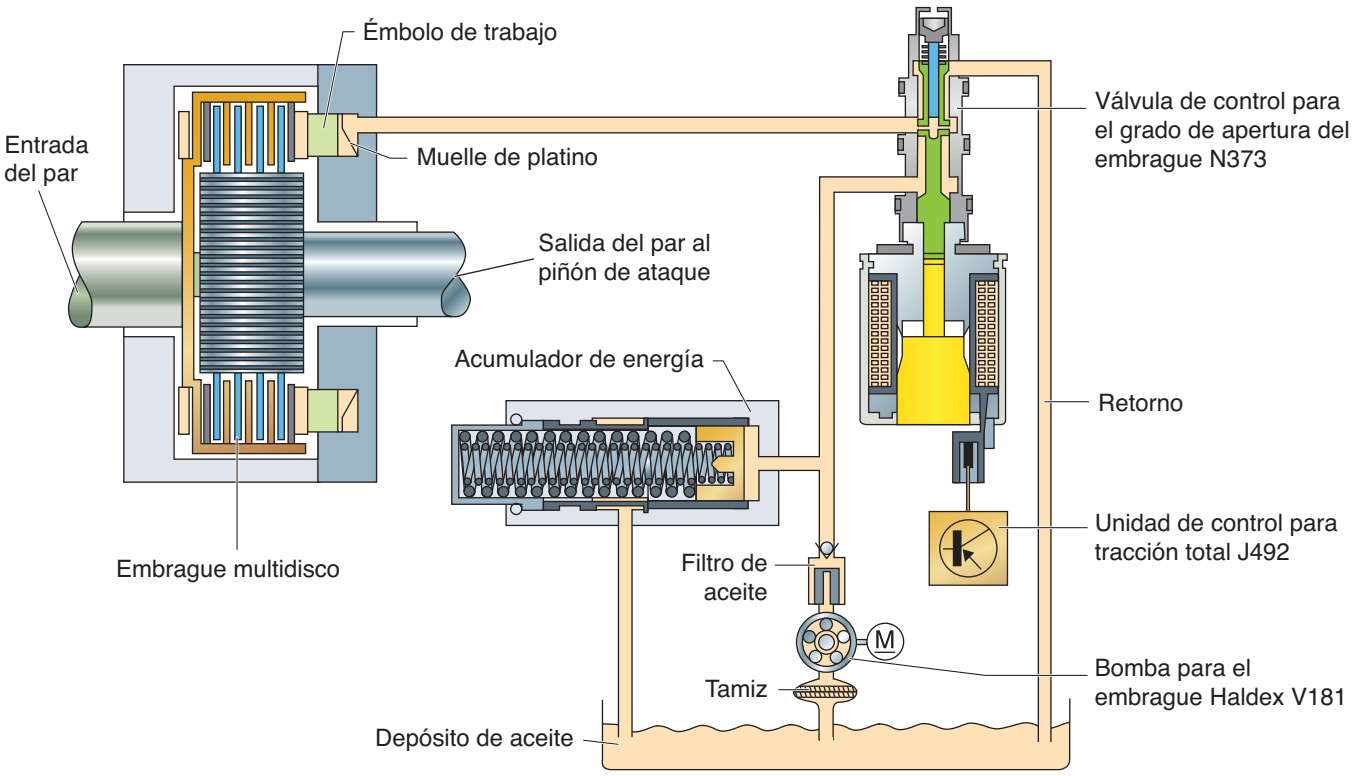
Funcionamiento del circuito y regulaciones

Los componentes electrohidráulicos generan la presión del aceite y controlan con ella el apriete de los discos del embrague y en consecuencia el par transmitido al eje trasero.

Sistema sin presión

La figura 6.18 muestra el sistema en estado sin presión. Todo el tiempo que el motor está parado y solo se encuentra conectado el encendido es excitada la unidad de control para tracción total J492, pero no se genera presión en el sistema. La válvula de control para el grado de apertura del embrague N373 se encuentra abierta al máximo, sin corriente, sin presión el embrague multidisco no transmite par al eje trasero.

Es necesario que el sistema no tenga presión cuando el vehículo es remolcado y cuando se coloque en un banco de rodillos.

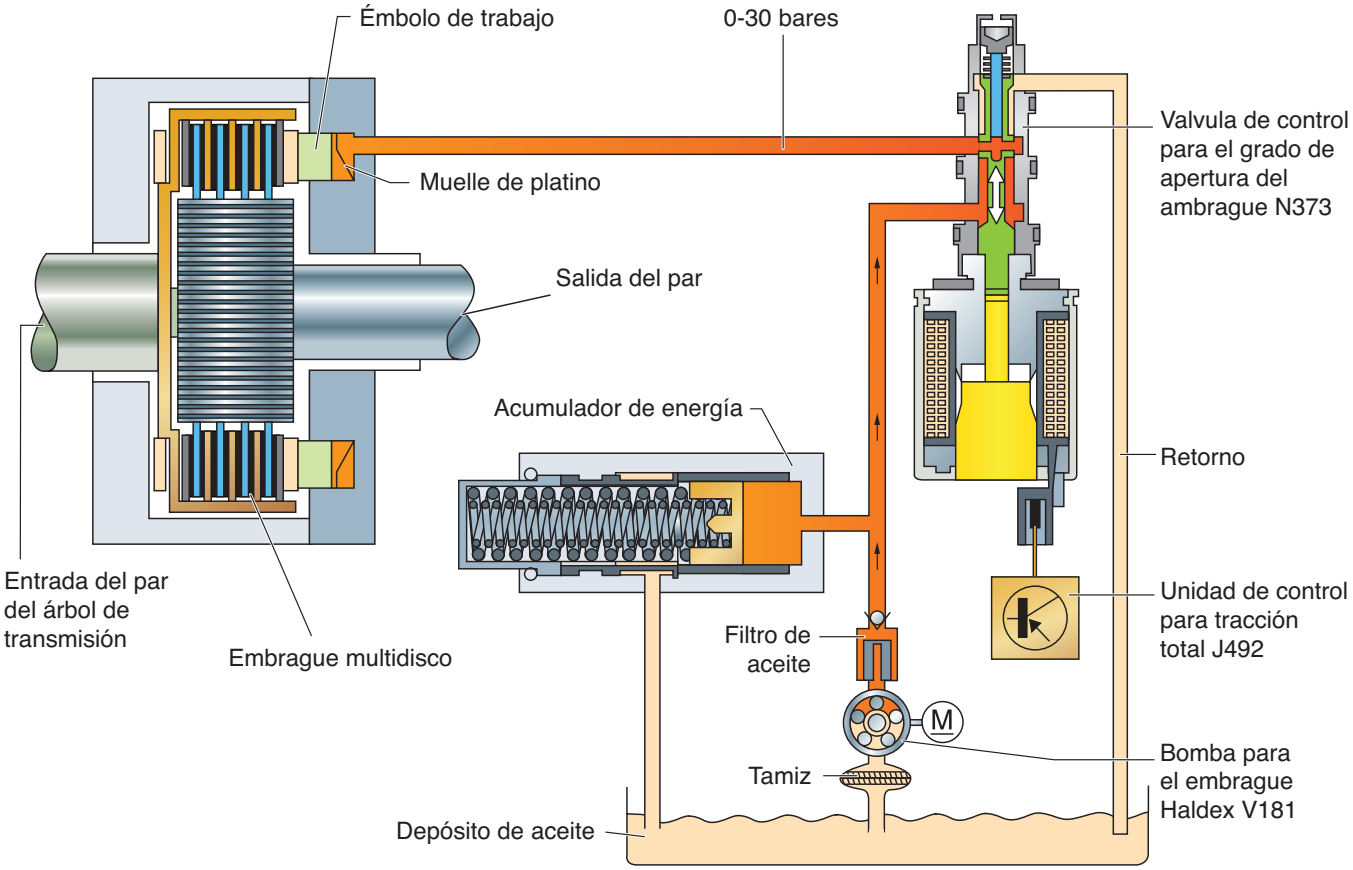


↑ **Figura 6.18.** Circuito hidráulico sin presión (fuente VW).

Generación de presión al arrancar el motor

En fase de arrancada y aceleración está inmediatamente disponible el par de tracción completo en el eje trasero.

Al ser arrancado el motor se activa la bomba para el embrague Haldex V181. En cuanto el motor alcanza un régimen de 400 rpm es excitada la bomba. Transporta aceite a través del filtro hacia el acumulador de energía, hasta que se alcance una presión de 30 bares en el circuito. La válvula de control para el grado de apertura del embrague N373 es cerrada por la unidad de control para tracción total J492, de modo que la presión sea reenviada hacia el émbolo de trabajo, con lo cual se comprime el paquete multidisco (figura 6.19).



↑ **Figura 6.19.** Circuito hidráulico con presión (fuente VW).

Funcionamiento en circulación del Haldex

El acumulador de energía mantiene constante la presión de 30 bares entre la bomba y la válvula en cualquier situación de la marcha. La gestión de la presión de trabajo se realiza exclusivamente a través de la válvula de control del grado de apertura del embrague N373, la cual está en condiciones de modular la presión de apriete sobre el émbolo de trabajo en función de las necesidades.

Esta presión de trabajo puede cifrarse entre 0% al frenar y 100% al acelerar.

Circulando por terrenos resbaladizos la presión de trabajo se regula en función de las necesidades. Se agregan señales procedentes de la unidad de control para ABS J104, la cual detecta patinaje a través de los sensores de régimen de las ruedas y calcula la tracción necesaria.

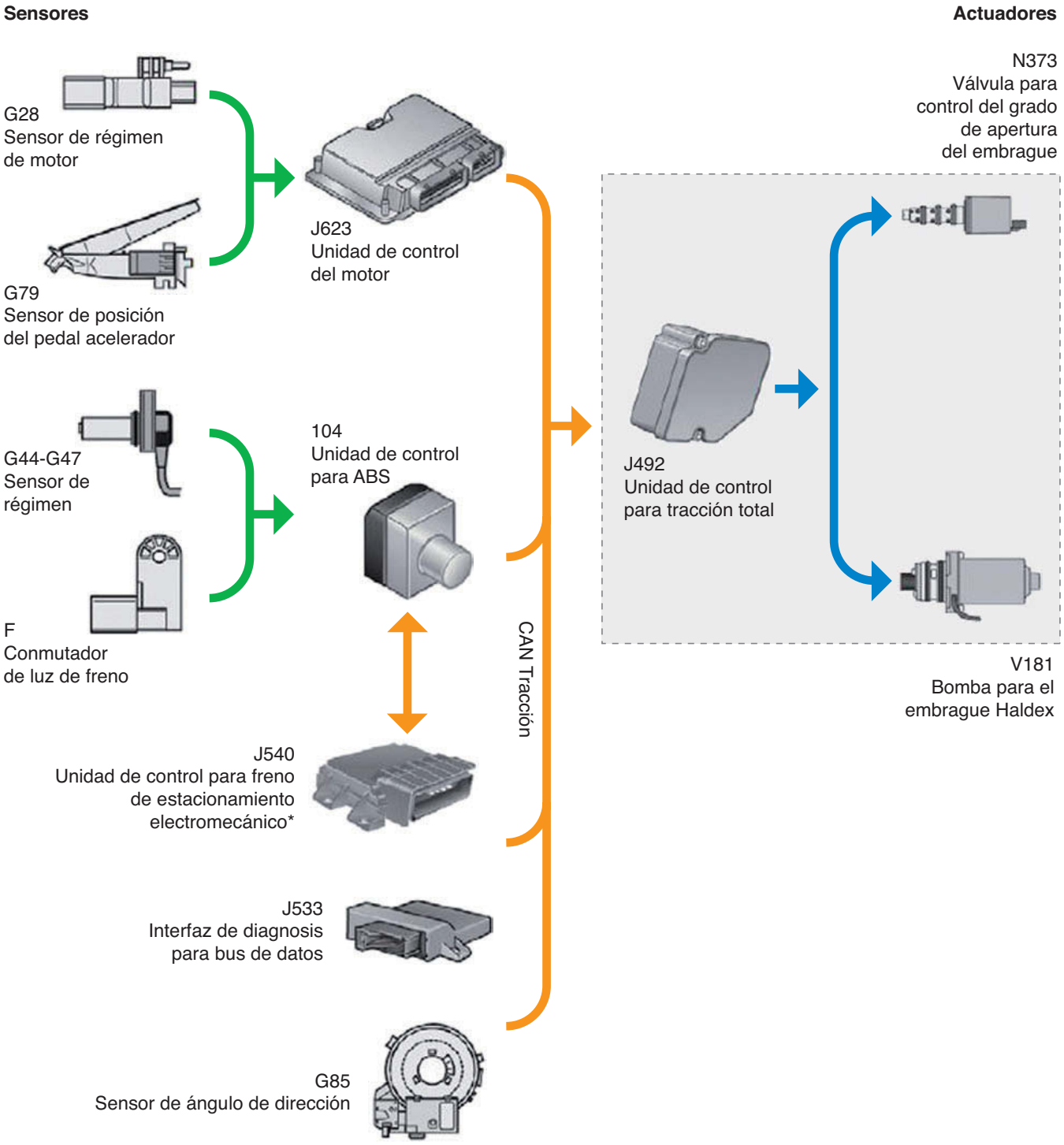
saber más

Funcionamiento en arrancada y aceleración

En el eje trasero se necesita un par de tracción intenso. La válvula cierra por completo y la presión de apriete puede ir al máximo, 30 Bar.

Marcha rápida

Solo se necesita un par de baja intensidad en el eje trasero. La presión de apriete se regula según las necesidades (baja presión 0-5 Bar).



↑ **Figura 6.20.** Estructura del sistema Haldex (fuente VW).

2.6. Transmisión con acoplamiento X-Drive

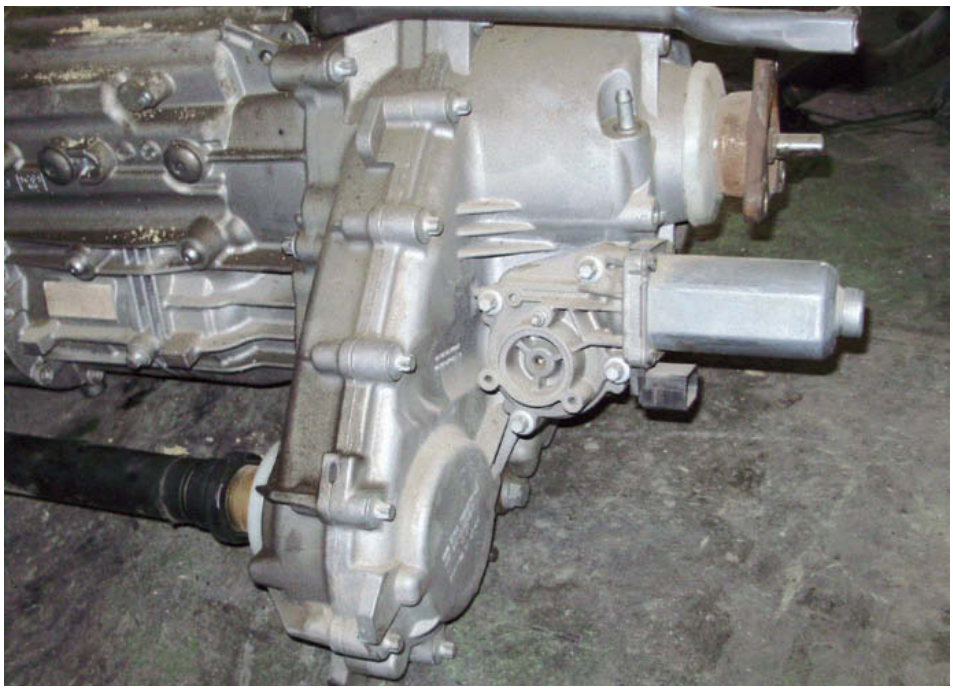
El acoplamiento X-Drive para el eje delantero emplea un dispositivo por discos bañados en aceite, similar a los empleados por el acoplamiento Haldex. El XDrive acopla el par a eje delantero en función de las necesidades de la conducción acoplando la tracción de forma proporcional a condiciones de funcionamiento, el acoplamiento actúa también como diferencial central repartidor.

recuerda

El acoplamiento X-Drive lo monta el fabricante BMW en los modelos con tracción trasera permanente. El acoplamiento X-Drive transmite el par al eje delantero y convertir los vehículos en 4x4.

El sistema está gestionado electrónicamente y se encuentra integrado en la red Can Bus, comparte información relacionada con el ABS/ESP, cambio automático, motor, etc.

El X-Drive no emplea un circuito hidráulico para controlar el deslizamiento de los discos, los discos son presionados por un dispositivo accionado por un motor eléctrico (figura 6.21).



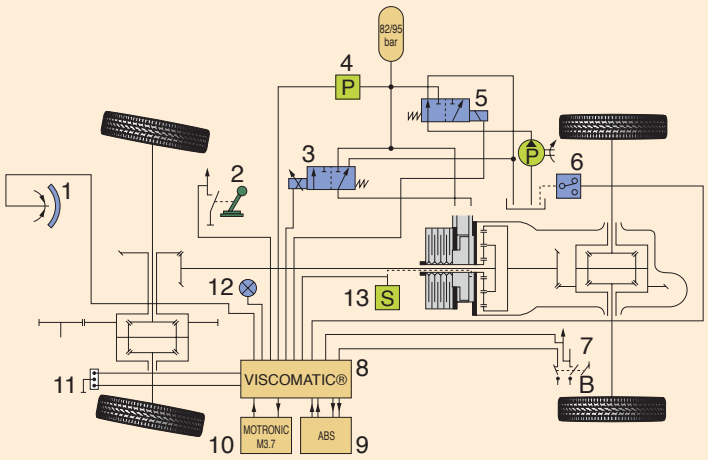
↑ **Figura 6.21.** Acoplamiento X-Drive.

ACTIVIDADES

2. El esquema de la figura 6.22 corresponde al acoplamiento del tren trasero Viscomatic, que emplea unos principios de funcionamiento similares al Haldex.

a. Nombra los componentes numerados del circuito.

b. Explica el funcionamiento básico y las diferencias que encuentres con el acoplamiento Haldex.



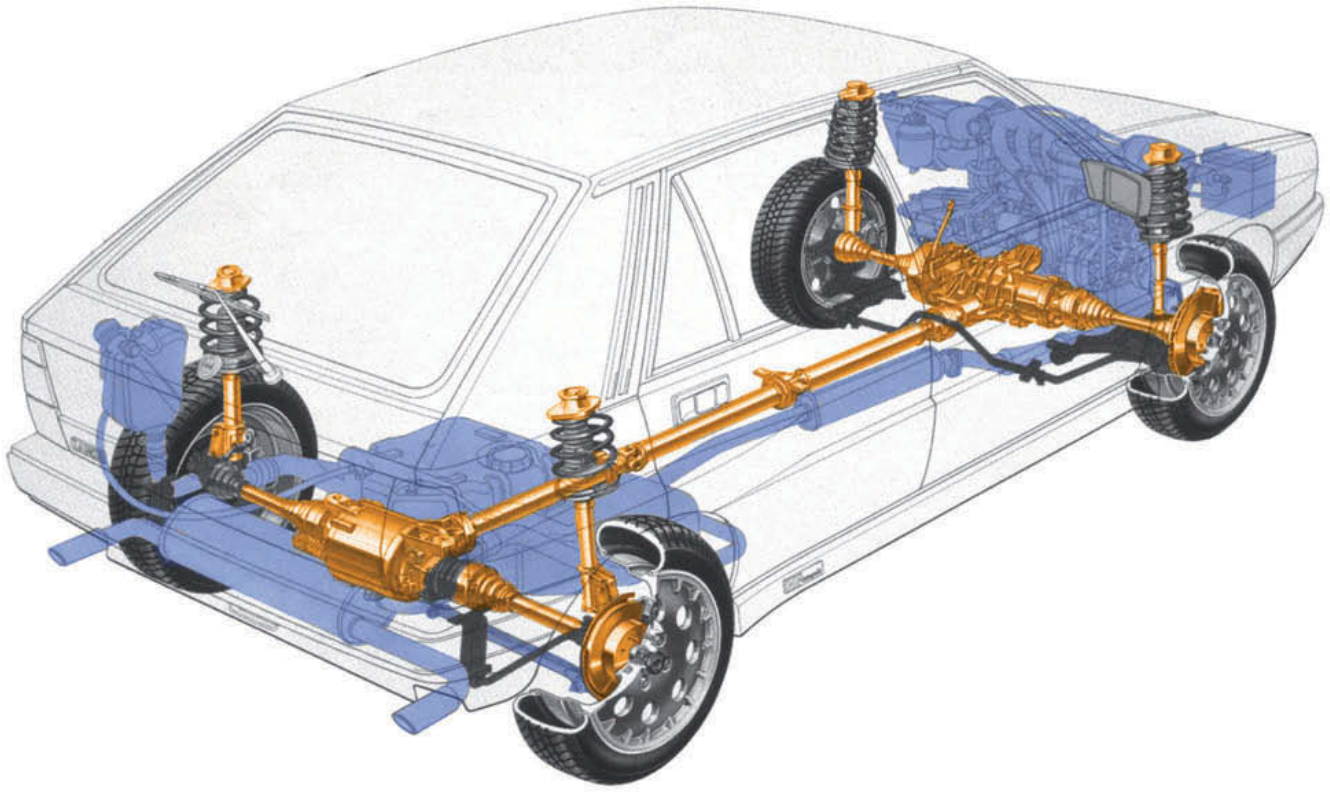
↑ **Figura 6.22.** Acoplamiento Viscomatic (fuente Fiat).

2.7. Transmisión 4x4 integral o permanente

Los vehículos con tracción permanente o integral reparten el par a los dos ejes motrices (delantero y trasero) de manera continua sin dispositivos de acoplamiento manual ni con gestión electrónica.

El reparto del par entre los ejes lo realiza el diferencial repartidor central, el fabricante del modelo diseña el reparto permanente entre los ejes y suele ser fijo oscilando entre el 45-50% en el eje delantero y 55- 50% al eje trasero.

Un vehículo con tracción 4x4 permanente necesita disponer de un diferencial central repartidor que compense las diferencias de giro de los dos ejes al tomar las curvas y dos diferenciales más, uno en cada eje motriz.



↑ **Figura 6.23.** Tracción 4x4 permanente Lancia Delta Integrale.

Con este diseño y sin bloqueo en ninguno de los tres diferenciales, el vehículo circulará con normalidad por cualquier terreno, repartiendo el par disponible del motor a las cuatro ruedas. El comportamiento de este sistema de transmisión es muy bueno cuando se circula por terrenos con buena adherencia. El problema se plantea cuando se circula en terrenos resbaladizos y con baja adherencia, el sistema, al disponer de diferenciales de giro libre, si una de las ruedas de un eje pierde adherencia, el par se puede «escapar» por esa rueda y eje descompensando el reparto de par inicial entre ejes.

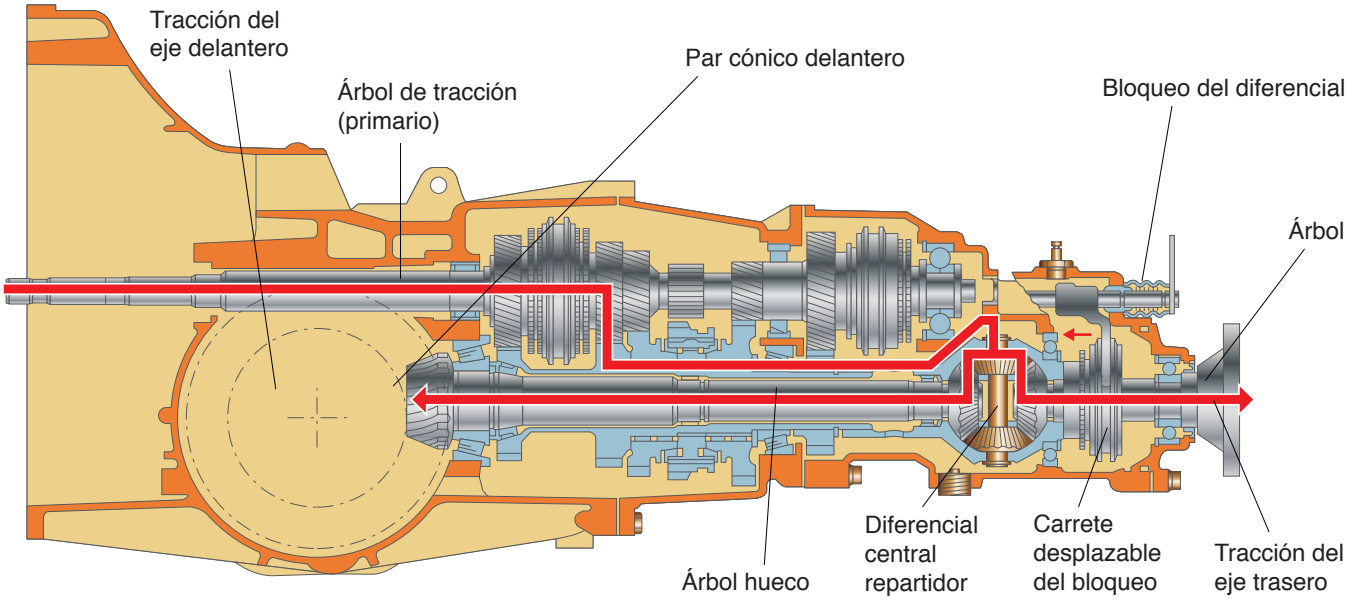
Para evitar escapes de par entre ejes se emplean los dispositivos siguientes:

- Bloqueo manual o automático del diferencial central repartidor.
- Empleo de diferencial repartidor tipo Torsen.
- Empleo del acoplamiento viscoso por discos tipo Ferguson.

Bloqueo del diferencial central

En los modelos que emplean diferenciales repartidores de giro libre o convencional, el reparto de par en este diferencial es simétrico 50% al eje delantero y 50% al trasero. Los diferenciales de giro libre necesitan un dispositivo de bloqueo que evite que si una rueda de un eje pierde la adherencia se fugue todo el par del vehículo. Esta situación se soluciona empleando el bloqueo del diferencial (figura 6.24).

El accionamiento del bloqueo puede ser mecánico con varillas, electromagnético o neumático.



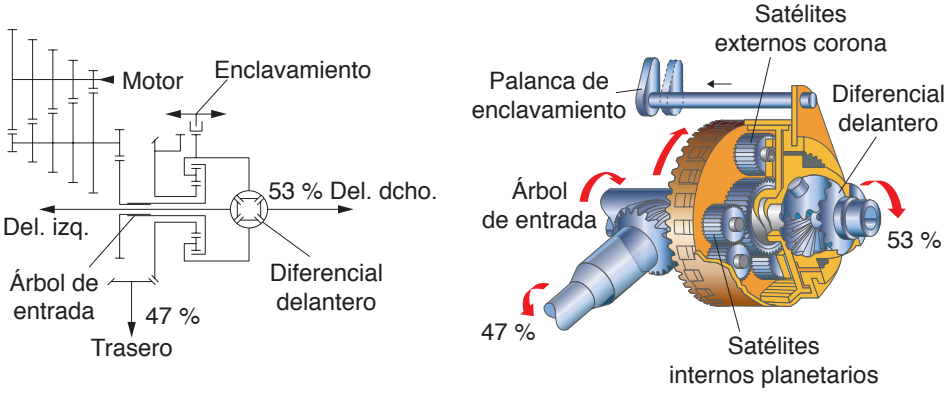
↑ **Figura 6.24.** Diferencial central de giro libre y reparto 50 -50 con bloqueo (Audi Quattro).

En los modelos que emplean un tren epicicloidal como diferencial, el reparto del par puede ser asimétrico entre los dos ejes, 45 al delantero y 55 al eje trasero en los modelos 4Matic de Mercedes o un 53 delante y 47 en el trasero de los Peugeot 405 4x4.

En ambos diseños necesitan un dispositivo de bloqueo: en el Peugeot es mecánico con un desplazable acopla un planetario a la carcasa del diferencial y anula el efecto diferencial (figura 6.25).

recuerda

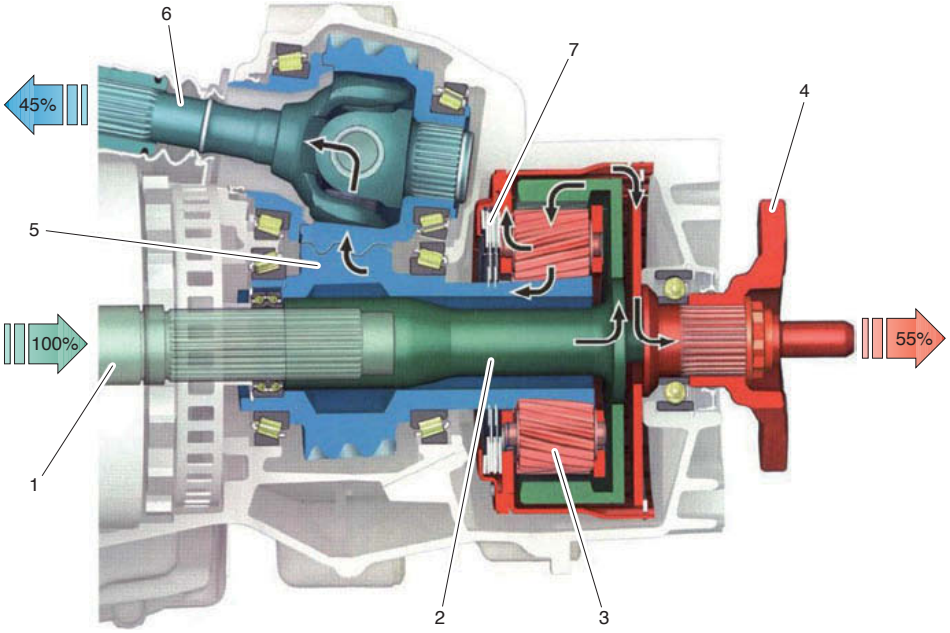
El tren epicicloidal empleado como diferencial repartidor en el Peugeot es similar al empleado en las cajas de cambios automáticas. En el diferencial de la figura 6.25, la fuerza entra por la corona de dentado interior y sale por el eje portasatélites al eje delantero y por el piñón planetario para el eje trasero. Al no encontrarse ningún componente del tren frenado, actúa también como diferencial y el reparto del par depende del diseño del tren.



↑ **Figura 6.25.** Esquema de la transmisión y el bloqueo de un diferencial repartidor de un Peugeot 405 4x4.

2.8. El diferencial repartidor 4Matic

El diferencial repartidor 4Matic de Mercedes emplea el tren epicicliodal con un diseño y tamaño entre la corona, planetario y satélites que consigue un reparto asimétrico de par entre los dos ejes, 45% en el delantero y 55% en el trasero (figura 6.26).

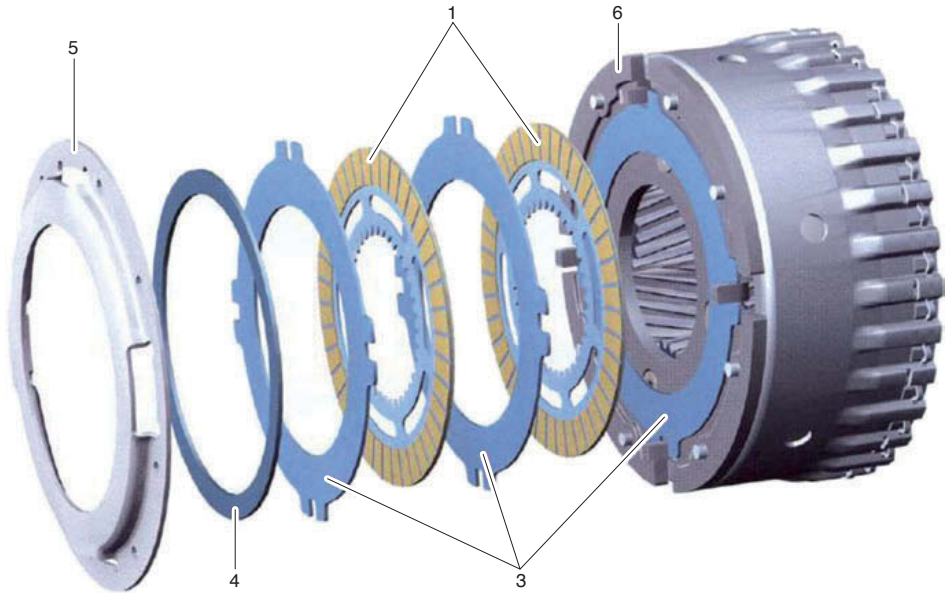


1. Entrada desde el cambio
2. Árbol de accionamiento del tren epicicloidal
3. Tren epicicloidal doble
4. Salida de fuerza al eje trasero
5. Rueda de accionamiento de salida
6. Salida de fuerza al eje delantero
7. Paquete de discos de bloqueo

↑ **Figura 6.26.** Tren epicicloidal repartidor 4MATIC (fuente Mercedes).

El bloqueo del repartidor 4MATIC se consigue con un paquete de discos pretensado con un muelle (figura 6.27). El embrague de discos une a la salida de fuerza del eje delantero (planetario) con la salida de fuerza al eje trasero (eje portasatélites).

En caso de patinar las ruedas de uno de los ejes, se transmite un par de fricción desde el eje que gira más rápido al eje que gira más lento, consiguiéndose un desfase variable de par ente los dos ejes de 50 Nm entre los dos ejes.

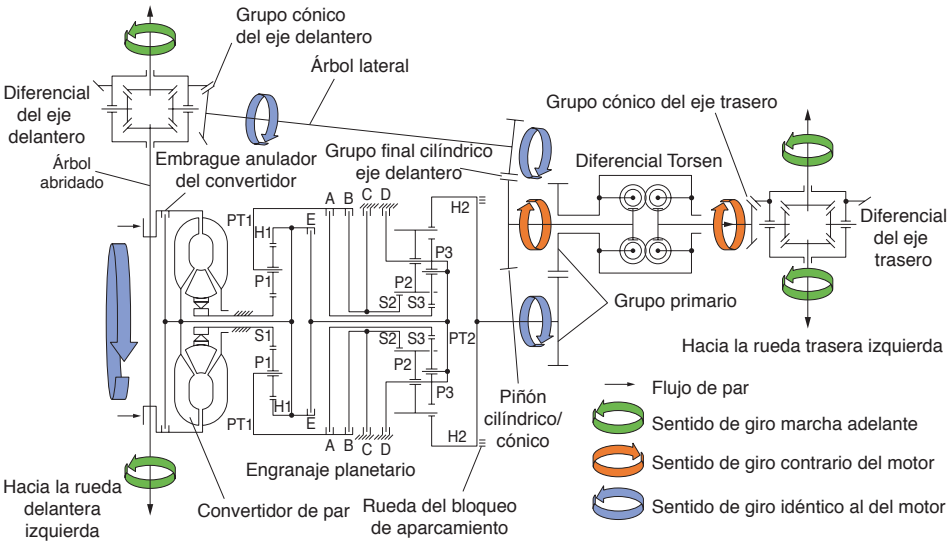


1. Discos de fricción
2. Portasatélites
3. Discos exteriores
4. Resorte de disco
5. Soporte

↑ **Figura 6.27.** Paquete de discos de bloqueo del repartidor 4MATIC (fuente Mercedes).

2.9. Repartidor diferencial Torsen

El acoplamiento repartidor Torsen responde a un diseño muy empleado en la actualidad en vehículos de alta gama. Se utiliza sin el piñón de ataque y sin la corona que emplean los grupos cónicos. En este mecanismo la transmisión del par se produce paralelamente, y no a 90° como en el grupo cónico (figura 6.28).

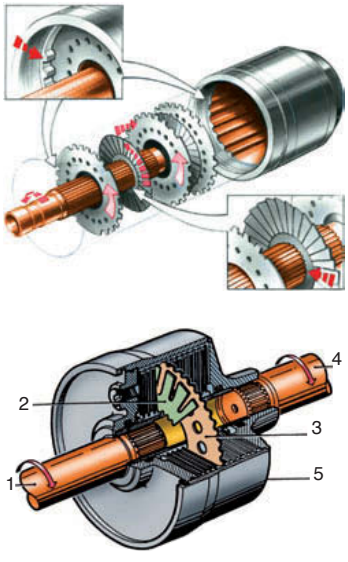


↑ **Figura 6.28.** Esquema de transmisión de un A8 con diferencial repartidor Torsen (fuente Audi).

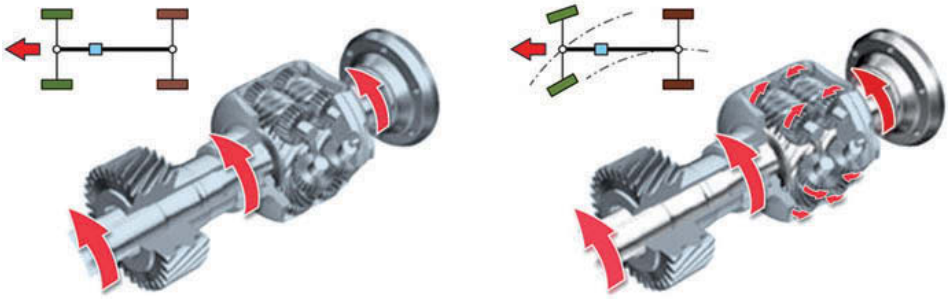
El funcionamiento del repartidor Torsen se basa en la irreversibilidad de los engranajes helicoidales por la inclinación de sus dientes y el deslizamiento se realiza en función de la inclinación de los mismos. En condiciones normales es del 50-50% y en función de la adherencia de los ejes puede variar a un 25-75% o a un 75-25%.

saber más

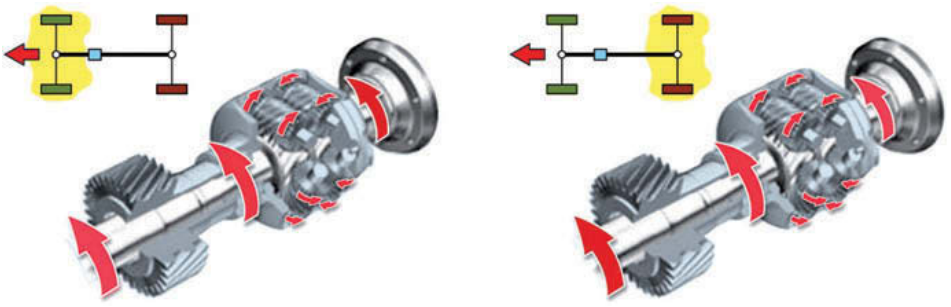
El acoplamiento Ferguson es un conjunto mecánico similar a un embrague multidiscos, el conjunto se encuentra bañado por silicona de alta densidad y cerrado herméticamente. El acoplamiento se realiza cuando aumenta la presión interna en el conjunto al producirse un deslizamiento de los ejes, se corta la silicona y su temperatura y presión aumenta y se acopla, el desacoplamiento se realiza al enfriarse.



↑ **Figura 6.30.** Acoplamiento viscoso tipo Ferguson.



↑ **Figura 6.29.** Comportamiento del diferencial Torsen en recta y en curva.



↑ **Figura 6.31.** Diferencial Torsen con deslizamiento en el tren delantero y en el trasero.

3. Árboles de transmisión

El árbol de transmisión se encarga de transmitir el par desde la caja de cambios hasta el puente trasero en los vehículos con motor delantero y propulsión trasera.

Para vehículos con motor delantero y tracción delantera y motor trasero y propulsión trasera, no son necesarios los árboles de transmisión, pues el par de giro se transmite directamente desde los piñones planetarios del diferencial con los dos semiárboles o «transmisiones».

En vehículos 4x4 se equipan dos árboles de transmisión de diferente tamaño: uno corto para la parte delantera y otro más largo para la trasera. La unión entre los árboles de transmisión y los grupos cónicos no es rígida; el acoplamiento se realiza empleando juntas elásticas de caucho y universales tipo cardán.

Las juntas cardán permiten el movimiento de vaivén que se producen en los grupos con las oscilaciones de la suspensión. El estriado de unión de la transmisión con el grupo permite un pequeño desplazamiento del árbol de transmisión que permite absorber los desplazamientos de los puentes con las oscilaciones de la suspensión.

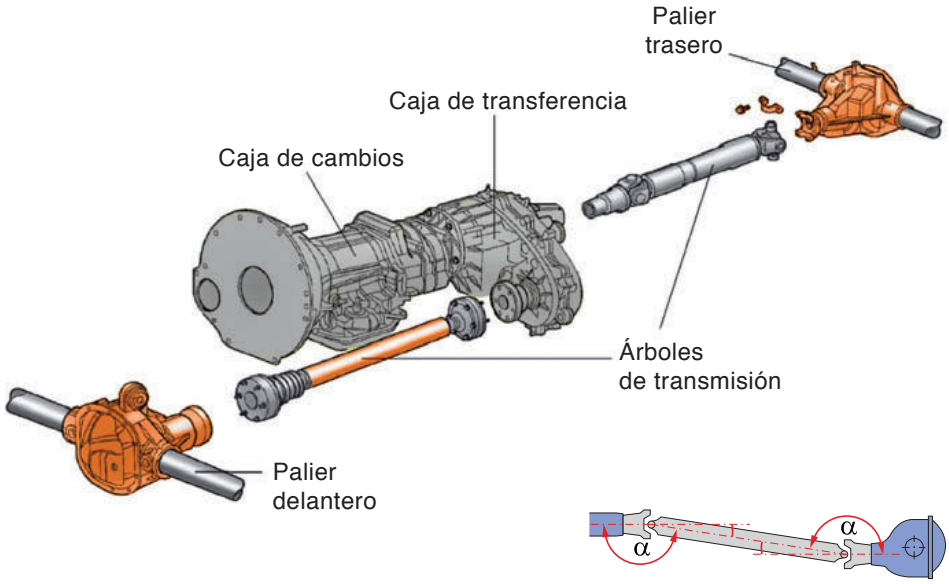
caso **práctico** inicial

Todos los modelos de vehículos 4x4 disponen de árboles de transmisión y juntas universales cardán.

saber más

Norma ISO 1940

El equilibrado de los árboles de transmisión se realiza según la norma ISO 1940.



↑ **Figura 6.32.** Árboles y puentes de transmisión de un todo terreno 4x4.

Constitución

El árbol de transmisión se fabrica en acero de alta calidad, con un diámetro mayor en el centro y perfectamente equilibrado. Es un elemento robusto que se somete a esfuerzos de torsión y fatiga, por lo que se diseña con el menor peso posible.

El árbol de transmisión más sencillo está compuesto por dos juntas tipo cardán y el cuerpo del árbol que puede ser extensible, para así poder absorber los desplazamientos ascendentes y descendentes del puente trasero.

Algunos modelos incorporan juntas elásticas, y si el árbol de transmisión es muy largo, se colocan apoyos en el centro (figura 6.33) que disminuyen las vibraciones.

↑ **Figura 6.33.** Apoyo central del árbol de transmisión.

saber más

Árbol de transmisión

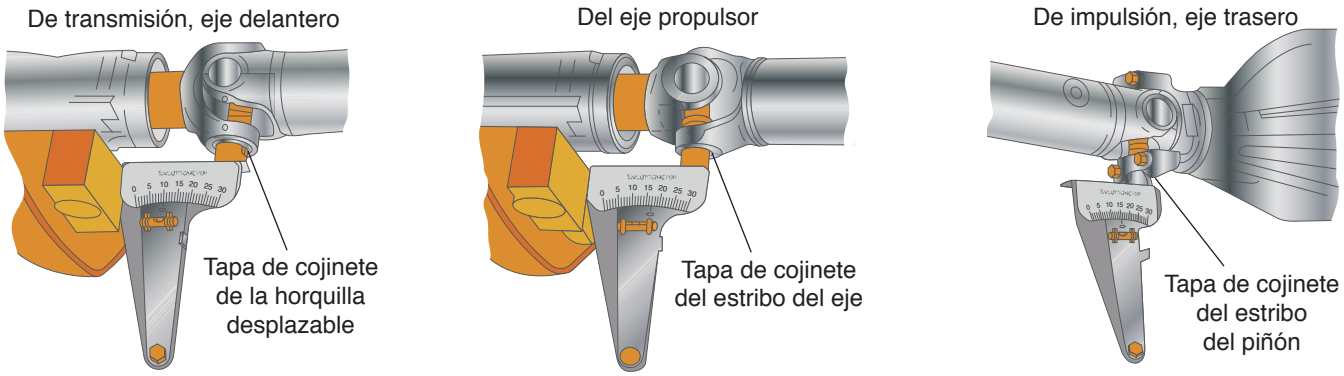
El árbol de transmisión está equilibrado dinámicamente; si es necesario desmontarlo del vehículo, se deberá marcar su posición y montarlo en la misma posición que tenía antes de desmontarlo.

Cuando se extrae la caja de cambios o el puente trasero, al volver a montarlas es necesario colocar estos conjuntos en el lugar exacto y verificar los ángulos que forman nuevamente las juntas cardán del árbol de transmisión (figura 6.35).

El principal problema de los árboles de transmisión son las vibraciones, las vibraciones producen ruidos y destruyen sus componentes. Cada árbol de transmisión tiene una velocidad crítica de vibración, que no se debe alcanzar durante el funcionamiento. La velocidad crítica de un árbol de transmisión depende principalmente de los siguientes factores:

- Distancia entre las juntas o articulaciones.
- Rigidez o la flexión del tubo que se emplea en la fabricación.
- Desgaste del estriado de la unión del árbol que compensa la longitud.

↑ **Figura 6.34.** Árbol de transmisión extensible en el centro.



↑ **Figura 6.35.** Medición de los ángulos del árbol de transmisión con la caja y el puente.

ACTIVIDADES

3. Busca, en manuales de reparación, diseños de transmisiones que empleen árboles de transmisión y anota cómo se comprueban los ángulos que forman los árboles de transmisión.

Después, realiza un croquis del diseño y enumera los componentes que dispone la transmisión: juntas elásticas, cardán, apoyos centrales, etc.

4. Juntas universales cardán

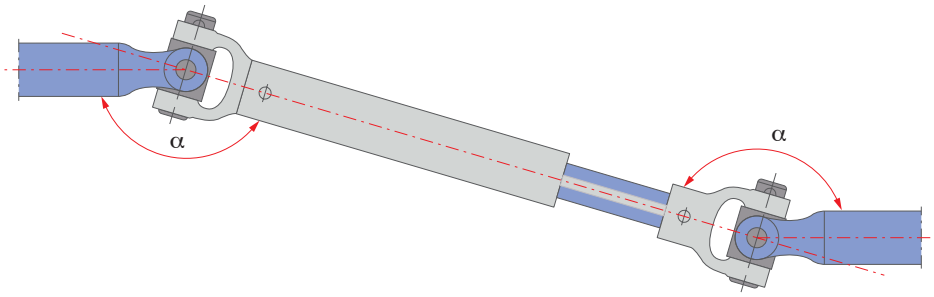
La junta universal tipo cardán (figura 6.36) es la más empleada en la unión en los árboles de transmisión y dirección que no se encuentran alineados o que se pueden desalinear como consecuencia del desplazamiento de uno de los conjuntos, tren trasero o caja de cambios. Normalmente se montan emparejadas.

↑ **Figura 6.36.** Junta cardán.

Las juntas cardán, bien calculadas y engrasadas, pueden transmitir el par que el motor genere permitiendo desplazamientos angulares de hasta 25°.

La transmisión del giro con una junta universal cardán permite transmitir el giro entre dos ejes que no se encuentran alineados y tiene el inconveniente de la variación de velocidad angular, de manera que, a medida que el ángulo del desfase entre los ejes «α» aumenta, la variación de velocidad angular también aumenta.

Cuando se necesita transmitir el giro de forma constante, por ejemplo en el árbol de transmisión, columna de la dirección etc. se montan dos juntas cardán, de manera que la velocidad angular que pierde una junta, se compensa en la velocidad angular que se gana en la otra cardán (figura 6.37), al ser iguales los dos ángulos de inclinación «α». Con este diseño, las velocidades angulares en la entrada del árbol se mantienen constantes en la salida.

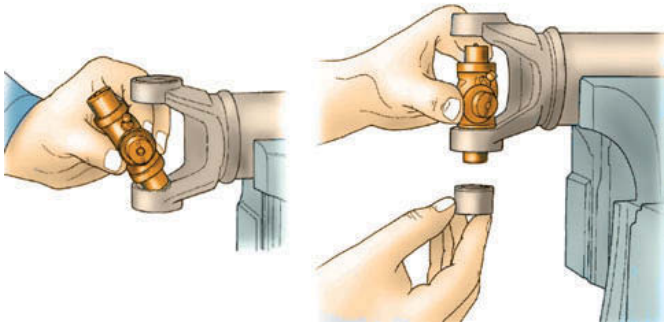


↑ **Figura 6.37.** Ángulos de un árbol de transmisión con dos cardán.

La junta universal cardán está formada por dos horquillas, unidas entre sí por una cruceta, y montadas con un vaso sobre rodamientos de agujas (figura 6.38).

↑ **Figura 6.38.** Despiece de una cruceta de una junta cardán.

Las juntas cardán se comercializan por separado de los árboles y se pueden sustituir en caso necesario. Estas se deterioran cuando las agujas se quedan sin lubricación o cuando son sometidas a esfuerzos bruscos y continuos y tienen holgura.



↑ **Figura 6.39.** Montaje de una cruceta en el árbol de transmisión.

En árboles de transmisión especiales y en semiárboles de transmisión se montan cardán dobles tipo Glaencer-spicer (figura 6.40). La junta cardán doble dispone de dos crucetas enclavadas en una pieza central y un árbol de entrada y otro de salida. La junta doble permite compensar las variaciones angulares de la cardán simple.

↑ **Figura 6.40.** Junta cardán doble (Glaencer-spicer).

5. Semiárboles de transmisión

Los semiárboles son los encargados de transmitir el par desde los planetarios del diferencial hasta las ruedas. Los semiárboles se diseñan teniendo en cuenta el sistema de propulsión, tracción delantera o propulsión trasera así como el tipo de suspensión y dirección que emplea el vehículo (figura 6.41).

↑ **Figura 6.41.** Transmisión delantera con trípode en el lado motor y Rzeppa en rueda.

5.1. Semiárboles para propulsión delantera

Este tipo de semiárbol tiene que permitir los movimientos de la rueda en sentidos ascendente y descendente y a su vez el movimiento direccional.

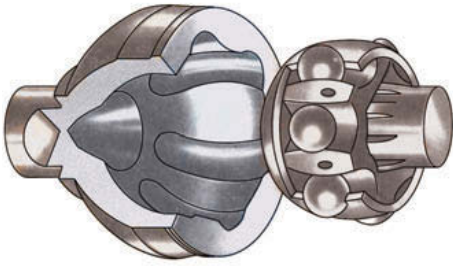
Los semiárboles o semiejes de estos modelos emplean juntas homocinéticas en ambos extremos, generalmente deslizante la del lado de la rueda. Las juntas homocinéticas más empleadas son las siguientes.

↑ **Figura 6.42.** Cruceta con engrasador.

Junta homocinética de bolas (tipo Rzeppa)

Esta junta lleva seis u ocho bolas sujetas por medio de una jaula que se desplaza sobre seis u ocho gargantas tóricas que forman la otra mitad de la junta. La junta homocinética con este diseño permite un deslizamiento longitudinal que la cardán normal no puede realizar.

↑ **Figura 6.43.** Junta homocinética Rzeppa montada.



↑ **Figura 6.44.** Junta Rzeppa desmontada.

↑ **Figura 6.45.** Junta deslizante de trípode.

Junta homocinética deslizante

La junta homocinética deslizante permite compensar el movimiento axial o longitudinal que se produce como consecuencia de la mayor longitud que debería tener el semiárbol cuando la rueda se desplaza en un bache o montículo. Permite también el movimiento ascendente o descendente en cualquier posición que se encuentre la transmisión.

Está formada por un trípode que acopla tres rodillos con rodamientos de agujas (figura 6.45).

Los rodillos se acoplan en las tres ranuras cilíndricas de que dispone el alojamiento de la transmisión.

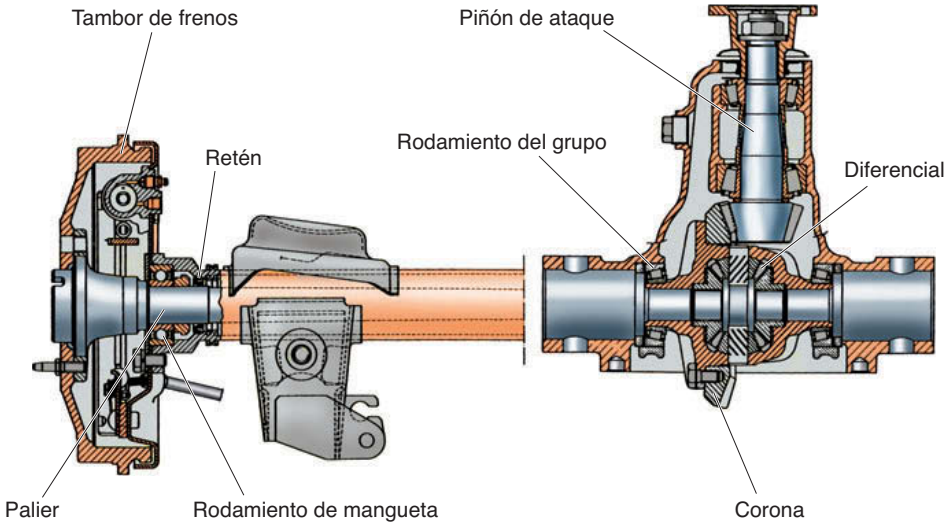
5.2. Semiárboles para eje rígido, palieres

El eje rígido de transmisión se emplea en vehículos todoterreno, camiones y vehículos industriales. También se empleaban en automóviles clásicos de propulsión trasera y puente rígido, como por ejemplo los Seat 124 y 131.

Los palieres se fabrican en acero forjado y estampado en caliente. Su dureza se consigue por medio de un tratamiento de temple y cementación.

El palier es un semiárbol de una sola pieza, sin juntas homocinéticas, por lo que debe ir montado sobre un puente rígido. Los palieres, por un extremo, engranan con un estriado en los planetarios del diferencial y, por el otro, se acoplan a la rueda.

El montaje del palier en el puente requiere, como mínimo, el empleo de dos rodamientos, uno en el grupo y otro en la mangueta (figura 6.46).



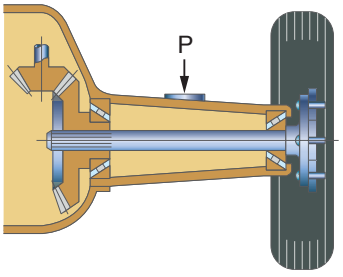
↑ **Figura 6.46.** Puente rígido, palier y diferencial, tracción trasera.

Los sistemas más empleados para el montaje de palieres en los puentes son:

- Montaje semiflotante.
- Montaje tres cuartos flotante.
- Montaje flotante.

Montaje semiflotante

Se emplea sobre todo en vehículos ligeros. En este montaje, por un extremo, el palier se apoya en el planetario y en su rodamiento, y por el otro, en la trompeta con un rodamiento de bolas. Con el diseño semiflotante el peso del vehículo recae sobre el palier (figura 6.47).

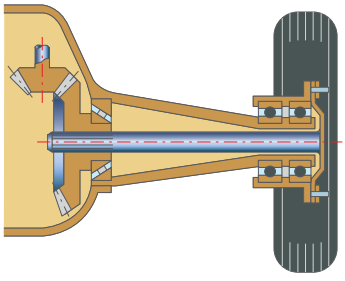


↑ **Figura 6.47.** Montaje semiflotante.

Montajes flotante y tres cuartos flotante

Los sistemas tres cuartos flotante y flotante son muy similares; se diferencian en el número de rodamientos que se montan en el mangón del puente: un rodamiento en el tres cuartos flotante y dos en el flotante (figura 6.48).

Con estos sistemas, el peso del vehículo no recae sobre el palier y, por lo tanto, este no soporta esfuerzos de flexión. Tanto el flotante como el tres cuartos flotante son sistemas muy empleados en los camiones y vehículos industriales.



↑ **Figura 6.48.** Montaje flotante.

saber más

Tratamiento de residuos

El aceite y filtros empleados en las cajas de transferencias y acoplamientos hidráulicos se deben recoger en recipientes adecuados para su reciclaje por los gestores autorizados.

6. Mantenimiento en transmisiones 4x4

El mantenimiento que se realiza en las transmisiones 4x4 viene determinado por el tipo de sistema de tracción. Las principales operaciones de mantenimiento son las siguientes:

- Las cajas de transferencia se lubrican con aceites SAE 75 W 90 (Norma API GL4), similar al empleado en la caja de cambios manuales.

  El nivel se debe revisar cada 2 años o cada 50.000-60.000 kilómetros, es aconsejable seguir las recomendaciones del fabricante en cuanto a periodos de cambio y tipo de aceite.
- También los diferenciales autoblocantes pueden emplear un aceite específico, como por ejemplo el modelo Nissan GR, que utiliza el denominado LSD.
- En el acoplamiento Haldex I, se debe cambiar el aceite y sustituir el filtro cada 60.000 kilómetros.
- El acoplamiento Ferguson no requiere mantenimiento.
- Los árboles de transmisión no suelen necesitar mantenimiento específico, aunque en ciertos modelos que van provistos de engrasadores en las crucetas se debe inyectar grasa según las recomendaciones del fabricante.
- Los semiárboles tampoco requieren mantenimiento, pero es conveniente revisar si los fuelles de goma tienen grietas o roturas (figura 6.49); si así fuera, se deben sustituir los fuelles antes que la junta homocinetica pierda toda la grasa y se quede sin lubricación.

↑ **Figura 6.49.** Fuelle de transmisión con una rotura.

7. Diagnóstico de averías y reparación en la transmisión 4x4

↑ **Figura 6.50.** Equipo de diagnosis.

Las principales averías de los sistemas de transmisión 4x4 se centran en los desgastes de los distintos elementos que se emplean y en los ruidos anormales que estos producen.

Las cajas de transferencia tienen averías similares a las cajas de cambios manuales.

La falta de lubricación y el trabajo en condiciones extremas provocan la rotura de rodamientos, de piñones o de la cadena de transmisión.

Estas reparaciones se realizan siguiendo los procedimientos de desmontaje y montaje que el fabricante recomienda en su manual de reparaciones.

En los sistemas de acoplamiento con gestión electrónica tipo Haldex, el funcionamiento es similar al de las cajas automáticas: el sistema dispone de captadores, un módulo que procesa las señales y un circuito hidráulico. El módulo de gestión memoriza las averías y con un equipo de diagnosis (figura 6.50) se pueden leer las averías memorizadas, borrarlas, realizar el ajuste básico de componentes, leer los valores reales etc.

Cuando se producen anomalías de funcionamiento, se deben verificar, circuito por circuito, los captadores, la alimentación eléctrica, las presiones de trabajo, etc.

En los árboles de transmisión y los semiárboles, las averías se producen por el desgaste de los rodamientos de las agujas de las juntas cardán.

El desequilibrio o descentrado del árbol produce vibraciones y ruidos anormales a distintas velocidades de funcionamiento.

Los semiárboles y palieres de vehículos con propulsión trasera son muy resistentes y duraderos, debido a que solamente se encuentran sometidos a movimientos ascendentes y descendentes de las ruedas, no tienen la función direccional. Las principales averías que se producen son debidas a la falta de lubricación de las juntas homocinéticas por rotura del fuelle y pérdida de la grasa.

El movimiento direccional de las ruedas delanteras junto al movimiento ascendente y descendente de la suspensión pueden acortar considerablemente la duración de las juntas homocinéticas de los semiárboles de tracción delantera. No obstante, la principal causa de averías de las juntas homocinéticas es la falta de lubricación por rotura del fuelle y pérdida de la grasa lubricante.

Los fabricantes de componentes comercializan las transmisiones completas originales, transmisiones reparadas y kits de reparación con junta homocinética y fuelle (figura 6.51).

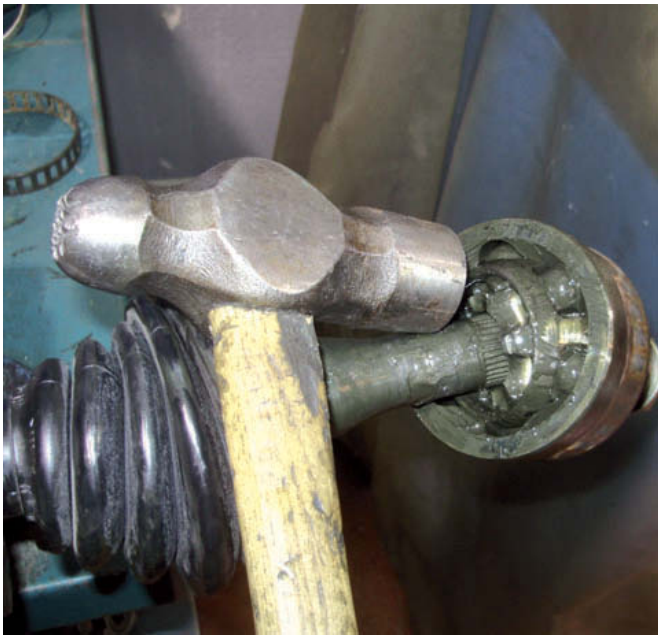
↑ **Figura 6.51.** Kit de reparación de una junta homocinética.

Los fuelles de las transmisiones dañados se pueden sustituir antes de que la junta homocinética se deteriore. Las dos juntas que dispone la transmisión delantera se pueden sustituir con facilidad. La junta homocinética, Rzeppa próxima a la rueda, se desmonta golpeando con un martillo sobre la pieza engranada en el eje (figura 6.52).

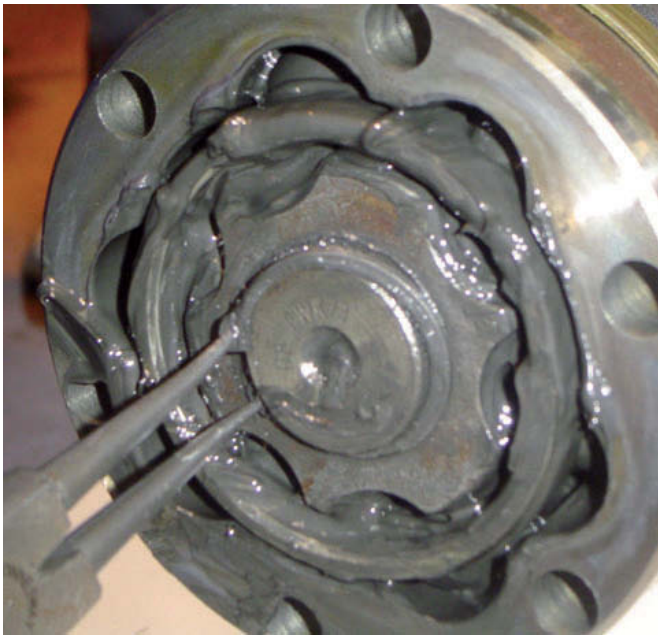
La homocinética próxima al cambio, se desmonta del eje para poder sacar el fuelle siguiendo el siguiente proceso:

Primero se extrae el anillo Seeger con unos alicates de puntas, sin anillo el eje estriado con las rampas de deslizamiento de las bolas, se puede separar del eje ranurado, empleando la prensa, no conviene desmontar la jaula y las bolas.

Una vez desmontadas las dos juntas los fuelles se extraen sin dificultad.



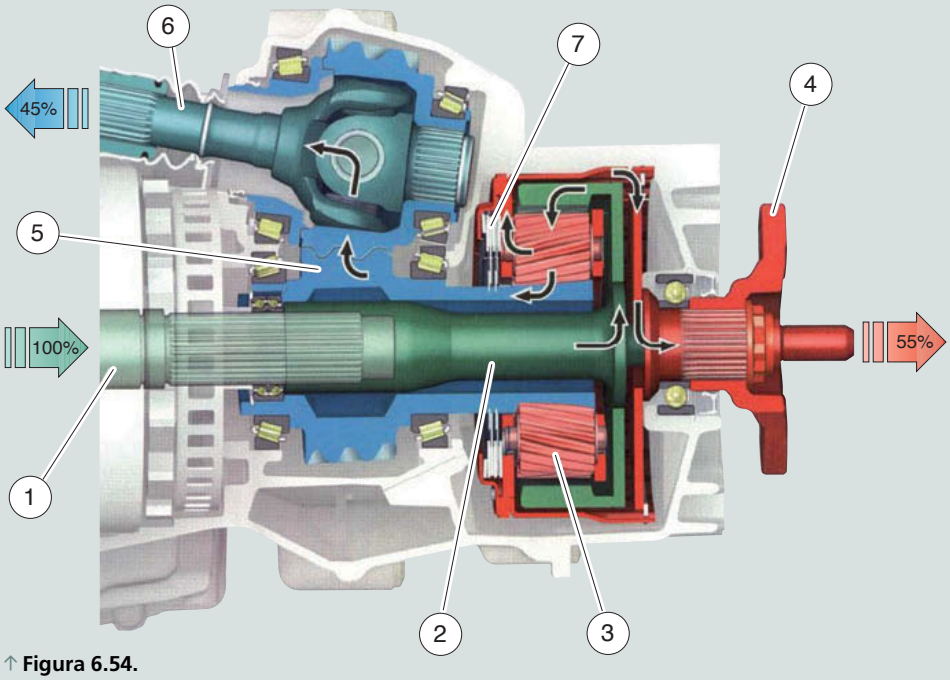
↑ **Figura 6.52.** Golpe para desmontar la junta homocinética.



↑ **Figura 6.53.** Desmontar el anillo elástico Seeger.

ACTIVIDADES FINALES

1. Explica gráficamente el comportamiento en curva de un vehículo con propulsión trasera, tracción delantera y tracción total.
2. Enumera los elementos constituyentes de un vehículo equipado con transmisión 4x4 de acoplamiento manual al eje delantero.
3. Explica los principios de funcionamiento básico de un acoplamiento Haldex y realiza un croquis del conjunto.
4. Explica el funcionamiento del un diferencial repartidor 4Matic.
5. Realiza un croquis del conjunto mecánico y del hidráulico de un conjunto repartidor y explica los principios básicos de funcionamiento.
6. ¿Cuál es la misión de los árboles de transmisión? ¿Qué diseños son los más empleados?
7. Enumera las ventajas e inconvenientes que ofrecen las juntas cardán empleadas en los vehículos.
8. ¿Cuál es la misión de los semiárboles de transmisión? ¿Qué diseños se emplean en automóviles, en todoterrenos y camiones?
9. Diseña un vehículo teniendo en cuenta distintos sistemas de transmisión y diferenciales con el fin de obtener un buen comportamiento del vehículo y que tenga el menor número de averías posible.
10. Nombra en tu cuaderno los componentes numerados del diferencial repartidor de la siguiente figura.



↑ **Figura 6.54.**

EVALÚA TUS CONOCIMIENTOS

Resuelve en tu cuaderno o bloc de notas

1. ¿A qué llamamos valor de adherencia del neumático?

a. Al producto del coeficiente de rozamiento entre el neumático y el terreno por el peso que soporta la rueda.

b. Al producto del coeficiente de rozamiento por la masa del vehículo.

c. Al peso del vehículo por la fuerza de empuje.

d. A la suma del coeficiente de rozamiento del terreno por el peso del vehículo.

2. ¿Qué tres partes o grupos principales forman un acoplamiento Haldex?

a. Mecánica, hidráulica y neumática.

b. Neumática, electricidad y mecánica.

c. Mecánica, hidráulica y eléctrica o electrónica.

d. Electrónica, hidráulica y neumática.

3. ¿Cuál de estos sensores no interviene en el sistema de acoplamiento Haldex?

a. Transmisor de posición del acelerador.

b. Conmutador de luz de freno.

c. Transmisor de régimen de las ruedas.

d. Sensor de la sonda lambda.

4. ¿Cuál es el reparto de par entre ejes de un diferencial repartidor tipo 4Matic?

a. 50% al eje delantero y 50% al trasero.

b. 55% al eje delantero y 45% al trasero.

c. 10% al eje delantero y 90% al trasero.

d. 45% al eje delantero y 55% al trasero.

5. ¿En qué tipo de vehículos no se utiliza el palier?

a. En vehículos con motor delantero y tracción delantera.

b. En vehículos con motor delantero y puente rígido con tracción trasera.

c. En vehículos 4x4.

d. En camiones con cabeza tractora.

6. ¿Qué caracteriza la junta homocinética tipo Rzeppa?

a. Que lleva alojado entre las horquillas un taco de goma.

b. Que lleva seis bolas sujetas por medio de una jaula.

c. Que emplea dos juntas cardán unidas por una pieza de doble horquilla.

d. Que está formada por un trípode que acopla tres rodillos con rodamientos de agujas.

7. En el sistema de acoplamiento Haldex, cuando la válvula reguladora se encuentra abierta al máximo...

a. No hay presión en los discos.

b. La presión de los discos es máxima.

c. La presión de los discos es reducida.

d. Hay presión en los discos.

8. En condiciones normales, ¿qué reparto de par realiza el repartidor Torsen entre los ejes delantero y trasero?

a. Del 100 %.

b. Del 25 al 75 %.

c. Del 75 al 25 %.

d. Del 50 %.

PRÁCTICA **PROFESIONAL**

HERRAMIENTAS

- Elevador de vehículos
- Herramientas manuales del electromecánico

MATERIAL

- Vehículo
- Transmisión delantera nueva

Cambiar una transmisión (semiárbol) delantera

OBJETIVO

Conocer el proceso para cambiar un semiárbol delantero completo.

PRECAUCIONES

- Colocar las garras del elevador en los puntos de elevación del vehículo.
- En algunos modelos es necesario quitar el aceite del cambio-diferencial.
- Los papeles impregnados de aceite se deben recoger para reciclarlos.
- Apretar los tornillos al par y colocar las fijaciones o inmovilizadores de la tuerca principal de la transmisión.

DESARROLLO

1. Quitar la rueda y aflojar la tuerca principal de la transmisión (véase la figura 6.55).
2. Aflojar y quitar los tornillos de fijación a la salida del diferencial (véase la figura 6.56). En muchos modelos el acoplamiento de la transmisión con el planetario del diferencial no tiene tornillos y al extraer la transmisión se puede salir el aceite del diferencial.
3. Desmontar la rotula de la dirección y del trapecio inferior (véase la figura 6.57).
4. Desplazar la mangueta de la rueda y sacar el estriado de la transmisión de su anclaje (véase la figura 6.58) y extraer la transmisión.

↑ **Figura 6.55.** Aflojar la tuerca de la transmisión.

↑ **Figura 6.56.** Quitar los tornillos del acoplamiento en la salida del diferencial.

↑ **Figura 6.57.** Desmontar la rótula.

↑ **Figura 6.58.** Extraer la transmisión.

Cambiar una cruceta del árbol de transmisión

HERRAMIENTAS

- Elevador de vehículos
- Herramientas manuales del electromecánico
- Prensa hidráulica

MATERIAL

- Árbol de transmisión
- Cruceta de recambio

OBJETIVO

Aprender a cambiar una cruceta de una cardán en el árbol de transmisión.

PRECAUCIONES

- Colocar las garras del elevador en los puntos de elevación del vehículo, si fuese necesario el elevador.
- Prestar mucha atención en el manejo de la prensa hidráulica.

DESARROLLO

1. Desmontar el árbol de transmisión, marcando la posición con un granete, con la transmisión fuera del vehículo se procede a desmontar los cuatro anillos Seeger (figura 6.59).
2. Empleando un tornillo de banco para sujetar una parte de la cardán, golpear con un martillo la otra parte de la junta (figura 6.60) hasta que los cubos de los rodamientos de agujas se puedan extraer (figura 6.61) y desmontar.

↑ **Figura 6.59.** Quitar el anillo Seeger.

↑ **Figura 6.60.** Desmontar la junta cardán.

↑ **Figura 6.61.** Extraer los cubos de las agujas.

3. Empleando la cruceta del recambio (figura 6.62), se monta en la mitad de la junta cardan (figura 6.63) y se vuelven a colocar los anillos elásticos.
4. La prensa (figura 6.64) se emplea para montar los cubos de la junta de la otra mitad de la junta.

↑ **Figura 6.62.** Cruceta nueva.

↑ **Figura 6.63.** Montar la cruceta.

↑ **Figura 6.64.** Montar los cubos de las agujas.

MUNDO **TÉCNICO**

Prueba de contacto: Subaru Impreza WRX STI 2011

Con ocasión de la presentación de este modelo, hemos tenido la oportunidad de experimentar las impresionantes cualidades dinámicas de esta nueva generación en dos tramos cerrados al público, uno de asfalto y otro de tierra, donde el Impreza WRX STI 2011 nos ha demostrado lo que es capaz de hacer. Se desenvuelve como pez en el agua en cualquiera de los dos terrenos a una velocidad fulgurante y con una agilidad sorprendente, fundamentalmente gracias a la regulación del modo de conducción, de la transmisión que maximiza la tracción y el agarre y del control de estabilidad VDC de serie. Y lo explicamos… El Impreza WRX STI dispone de varios sistemas de ayuda a la conducción que permiten configurar un chasis a capricho dependiendo del terreno que vayamos a afrontar o de los gustos de cada uno.

Por otra parte dispone de un eficiente modo de control del diferencial central mecánico DCCD que se combina con unos diferenciales delantero y trasero, ambos autoblocantes LSD, el delantero mecánico y el trasero electrónico, que controlan el sistema de tracción total Symmetrical AWD, adaptando también la tracción del coche al terreno por el que se circula. El sistema se regula manualmente mediante unos mandos en el túnel central que dispone de un modo automático con tres posiciones, **auto,** que se adapta a todas las condiciones, **auto +** que aumenta la actuación del diferencial en el eje delantero para afrontar terrenos menos adherentes y **auto -** que quita potencia al eje delantero para conducir en terrenos con buen asfalto y para buscar la mayor agilidad de respuesta. Como colofón a toda esta efectividad dinámica dispone también de un sistema manual de control del diferencial con 6 niveles de actuación hasta uno bloqueado a un máximo de 50/50 de fuerza entre ejes, mientras que el menor valor es de 33/67 delante y detrás.

Si a estas cualidades le sumamos tres opciones de control de estabilidad VDC de serie, el Normal con el control de tracción y estabilidad activado, el modo Traction que desactiva el control de tracción y deja latente el de estabilidad en un segundo grado y el modo Off con todos los controles quitados, tenemos un vehículo con cantidad de posibilidades de configuración y de comportamientos dinámicos.

Fuente: Diego Zotes, Autocity.com.

↑ **Figura 6.65.** Subaru Impreza WRX STI 2011.

EN RESUMEN

TRANSMISIONES 4X4 → Reparten el par a las cuatro ruedas, con lo que se consigue un comportamiento óptimo sobre todo tipo de terrenos.

- **Sistema 4x4 acoplable**
  - Manual
    - Cajas de transferencia
    - Acoplamiento por discos
  - Todoterrenos y vehículos agrícolas
  - Automático
    - Haldex
    - Ferguson
    - X-Drive
  - Automóviles
- **Sistema 4x4 permanente**
  - Diferencial repartidor central
  - Tren epicicloidal repartidor de par y diferencial
  - Torsen

ÁRBOLES DE TRANSMISIÓN Y SEMIÁRBOLES → Transmiten el par entre distintos conjuntos mecánicos

- **Juntas cardán**
- **Juntas homocinéticas**
- **Palieres**
  - Semiflotante
  - Tres cuartos flotante
  - Flotante

entra en internet

1. En las páginas web de los fabricantes de vehículos y componentes encontrarás información detallada de los sistemas de transmisión que emplean sus modelos, como por ejemplo en:
   - <www.zf.com> • <www.schaeffler.es> • <www.audi.es> • <www.haldex.com>

7 Los frenos en los vehículos

vamos a conocer...

1. Equipo o sistema de frenado
2. Dinámica del frenado
3. Aplicación de la fuerza de frenado, generación
4. Sistemas de mando o accionamiento
5. Circuito de frenado con fuerza auxiliar

PRÁCTICA **PROFESIONAL**

Comparación del par de frenado en un vehículo con dos discos de freno de diferente diámetro

Identificación de los elementos que constituyen el freno de servicio

MUNDO **TÉCNICO**

Frenado regenerativo. Permite recuperar la energía de la batería utilizando el motor eléctrico como generador

y al finalizar esta unidad...

- Conocerás el sistema de frenado.
- Estudiarás la dinámica del frenado; fuerzas que intervienen en el proceso de frenado, eficacia del circuito de freno, etc.
- Conocerás cómo se aplican las fuerzas de frenado y el reparto necesarios entre los ejes.
- Estudiarás los sistemas de mando o accionamiento de los sistemas de freno.

CASO **PRÁCTICO** INICIAL

situación de partida

Carlos, mecánico de ***Plaza Competición,*** está preparando un vehículo todo-terreno para disputar el campeonato de España de Raids.

El vehículo se ha aligerado de peso, se ha montado sobre una estructura tubular y se le han montado los diferentes sistemas de seguridad (barras antivuelco, sistema de extinción, etc.).

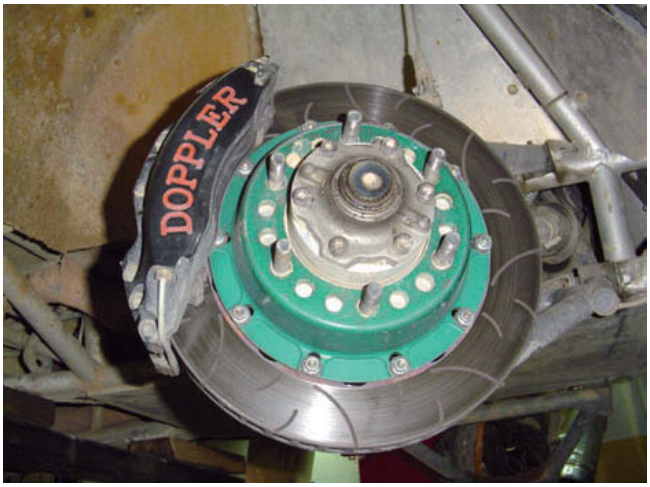
También se ha preparado el motor potenciándolo hasta los 250 CV, con nuevos sistemas de alimentación y escape, doble turbo e intercooler y un nuevo sistema de refrigeración con radiadores de mayor tamaño.

Se ha montado un embrague cerámico y una caja de cambios de siete velocidades con una nueva reductora.

El sistema de transmisión ha sido reforzado y la suspensión se ha equipado con un doble amortiguador por rueda y muelles helicoidales independientes.

Para mejorar el sistema de frenado, Carlos ha estudiado las distintas fuerzas que actúan sobre el vehículo y ha sobredimensionado el sistema de accionamiento incorporando una nueva bomba de freno dual de émbolos de mayor tamaño con dos circuitos independientes (delantero y trasero), un servofreno más potente y unas pinzas de doble émbolo y discos ventilados de mayor diámetro.

También se ha modificado el freno se estacionamiento y se han incorporado reguladores de presión para los distintos ejes.



↑ **Pinza de freno y disco montada en el vehículo.**

estudio del caso

Antes de empezar a leer esta unidad de trabajo, puedes contestar las dos primeras preguntas. Después, analiza cada punto del tema, con el objetivo de contestar al resto de las preguntas de este caso práctico.

1. ¿Qué entiendes por sistema de frenado?
2. ¿Qué elementos conoces del sistema de freno de un automóvil?
3. ¿Por qué sustituye Carlos el sistema de freno del vehículo todo-terreno?
4. ¿Qué sistema de freno dual utiliza el vehículo?
5. ¿Con qué objetivo se montan en el vehículo preparado discos de mayor diámetro?

1. Equipo o sistema de frenado

Un vehículo debe disponer de un sistema de frenado capaz de detenerlo cuando se encuentra en movimiento e inmovilizarlo cuando está detenido.

Según el Reglamento nº 13 de la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (CEPE/ONU) por el que se regula la homologación de los vehículos de las categorías M, N y O y del Reglamento nº 13 H de vehículos de turismo en lo relativo al frenado, se entiende por **equipo o sistema de frenado** al conjunto de piezas que tienen por función disminuir progresivamente la velocidad de un vehículo en marcha, hacer que se detenga o se mantenga inmóvil si se encuentra ya detenido.

caso **práctico** inicial

Carlos sustituye el sistema de freno del vehículo todoterreno de competición debido a sus nuevas características constructivas.

El sistema de freno que montaba el vehículo en origen no era capaz de detener el vehículo de forma adecuada.

Los vehículos a motor, ya sean motocicletas, automóviles, vehículos industriales, etc., disponen de sistemas de freno adaptados al tipo del vehículo y al trabajo para el que están diseñados. Estos sistemas de freno tienen que ser capaces de transformar la energía cinética del vehículo en energía calorífica y disipar el calor generado en los elementos activos.

Básicamente, el equipo de freno está compuesto por el mando, la transmisión y el dispositivo de freno.

- Se entiende por **mando,** a la pieza directamente accionada por el conductor (o, en el caso de algunos remolques, por un ayudante) que proporciona a la transmisión la energía necesaria para frenarla o regularla. Esta energía puede ser la fuerza muscular del conductor o provenir de otra fuente controlada por él, o bien, en los casos pertinentes, la energía cinética de un remolque, o una combinación de estos diversos tipos de energía.
- La **transmisión** es la combinación de componentes que están situados entre el mando y el freno y que los unen de manera funcional. La transmisión puede ser mecánica, hidráulica, neumática, eléctrica o mixta. Cuando la energía de frenado proviene o se ayuda de una fuente independiente del conductor, la reserva de energía del sistema forma también parte de la transmisión.
- El **dispositivo de freno** es la pieza sobre la que se ejercen las fuerzas que se oponen al movimiento del vehículo. El dispositivo de freno puede ser:
  - **De fricción,** cuando las fuerzas se generan por el rozamiento entre dos piezas del vehículo que se mueven una con respecto a la otra.
  - **Eléctrico,** cuando las fuerzas se generan por la acción electromagnética entre dos piezas del vehículo que se mueven una con respecto a la otra, pero sin contacto entre sí.
  - **Hidráulico,** cuando las fuerzas se generan por la acción de un líquido situado entre dos piezas del vehículo que se mueven una con respecto a la otra.
  - **De motor,** cuando las fuerzas proceden de un aumento artificial de la acción de frenado del motor que se transmite a las ruedas.

Los sistemas de frenado se diferencian principalmente por:

- Las características de los componentes.
- El tamaño, la forma y los materiales de fabricación.
- La disposición de montaje de los componentes.

1.1. Tipos de freno

Freno de servicio

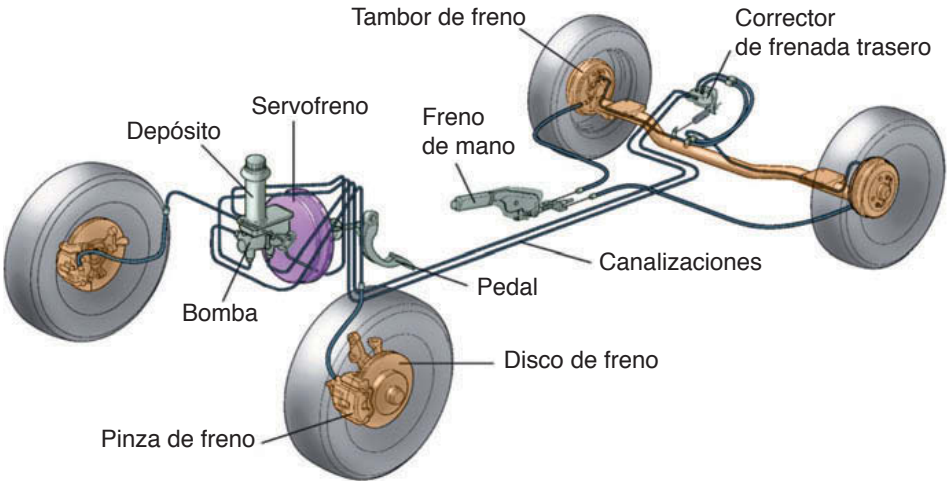
El sistema de frenado de servicio deberá permitir controlar el movimiento del vehículo y pararlo de forma segura, rápida y eficaz, cualesquiera que sean la velocidad, la carga o la pendiente ascendente o descendente en la que se encuentre. Su acción deberá ser regulable. El conductor deberá poder frenar de esta manera desde su asiento sin retirar las manos del mando de dirección.

La instalación del freno de servicio permite al conductor reducir la velocidad del vehículo durante la marcha normal y conseguir que este frene y se detenga.

La constitución más sencilla del freno de servicio es montada en algunos ciclomotores. En estos, el sistema está constituido básicamente por un pedal o maneta de accionamiento, varillas o cable, palanca del tambor y tambor de freno con zapatas.

En motocicletas y automóviles, el freno de servicio está constituido generalmente por un circuito hidráulico que dispone de elementos que generan la presión y dispositivos para actuar sobre los bombines de los discos o tambores de freno, así como de elementos correctores o amplificadores de la presión.

Un circuito de freno de servicio está constituido básicamente por: un pedal de accionamiento, una bomba hidráulica con el depósito de líquido, un servofreno, discos y pinzas de freno o tambores y zapatas, un corrector de frenada para el eje trasero y canalizaciones (véase figura 7.1).



↑ **Figura 7.1.** Circuito de freno hidráulico.

Características del freno principal o de servicio	
Número de circuitos.	Un circuito de freno mixto, para el eje delantero y trasero. Dos circuitos independientes, el eje delantero y el eje trasero están separados.
Fuerza en el pie.	Máxima fuerza que se puede realizar. Aproximadamente 800 N.
Presión máxima en el circuito.	De 20 a 50 bar.
Relación mecánica del pedal.	5:1 8:1

← **Tabla 7.1.** Tabla ejemplo de las características del freno principal o de servicio.

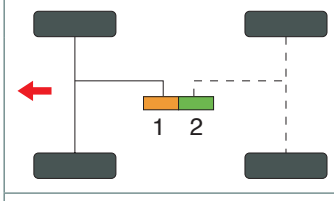
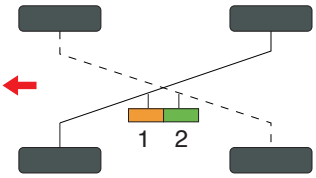
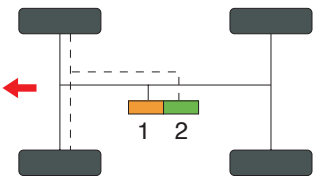
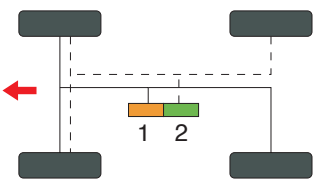
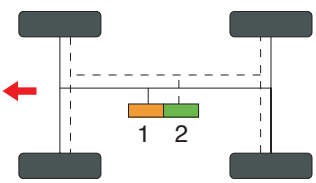
Antiguamente, el sistema de freno de servicio utilizaba un circuito único para transmitir la energía de frenado a las ruedas. Este sistema era peligroso ya que, ante cualquier fallo, dejaba sin frenos al vehículo.

La legislación actual regula que los vehículos deben llevar un sistema de freno de dos circuitos, también llamado «circuito dual». El circuito de freno dual permite que, existiendo un fallo en uno de los dos circuitos de freno, el otro permanezca operativo.

Según la norma DIN 74000, se establecen para los vehículos las siguientes configuraciones del sistema de freno de circuito dual:

caso práctico inicial

El vehículo de competición preparado por Carlos dispone de un circuito de freno dual con un sistema II, que independiza los frenos del eje delantero y del eje trasero.

	**Sistema II** Distribución eje delantero, eje trasero. Cada circuito frena independientemente un eje.
	**Sistema X** Distribución diagonal entre ruedas. Delantera izquierda con trasera derecha; delantera derecha con trasera izquierda.
	**Sistema HI** Distribución eje delantero-eje trasero, eje delantero. Un circuito actúa sobre ambos ejes mientras que el otro actúa sobre el delantero.
	**Sistema LL** Distribución eje delantero y rueda trasera derecha, eje delantero y rueda trasera izquierda.
	**Sistema HH** Distribución eje delantero-eje trasero, eje delantero-eje trasero. Cada circuito actúa sobre los dos ejes.

↑ **Tabla 7.2.** Configuraciones del sistema de frenos de circuito dual.

Freno de socorro o auxiliar

El freno de socorro o auxiliar debe permitir detener el vehículo en una distancia razonable en caso de que falle el sistema de frenado de servicio. Su acción deberá ser regulable. El conductor deberá poder frenar desde su asiento manteniendo al menos una mano en el mando de dirección.

En los automóviles, el freno de socorro o auxiliar es el mismo que el freno de estacionamiento. Este consiste en un mecanismo de accionamiento manual (freno de mano) que actúa sobre las dos ruedas de un mismo eje, generalmente las traseras.

Si el freno de servicio se acciona mediante la energía muscular del conductor asistida por una o varias reservas de energía, el freno de socorro deberá poder accionarse, en caso de fallo de dicha asistencia, por la energía muscular del conductor asistida por las reservas de energía no afectadas por el fallo, si las hubiera, y sin que la fuerza que se aplique sobre el mando del freno sobrepase el máximo prescrito.

Freno de estacionamiento

Cuando el vehículo está parado o estacionado, el sistema de frenado de estacionamiento deberá permitir mantener el vehículo inmóvil cuesta arriba o cuesta abajo, incluso en ausencia del conductor. Las piezas activas permanecerán en la posición de bloqueo mediante un dispositivo puramente mecánico (generalmente un trinquete) y el conductor deberá poder accionar el freno de estacionamiento desde su asiento.

Los automóviles y vehículos industriales ligeros emplean conjuntamente el mecanismo de freno de mano para dos funciones: como freno auxiliar, para el caso de una frenada de emergencia y como freno de estacionamiento.

En vehículos industriales y de transporte de pasajeros como camiones y autobuses, el freno de estacionamiento suele aprovechar el circuito neumático del vehículo para el bloqueo y desbloqueo del freno de estacionamiento.

Características del freno auxiliar y de estacionamiento	
Accionamiento.	Mecánico con inmovilizador por muescas (trinquete). Independiente del freno de servicio.
Fuerza máxima de accionamiento.	Máxima fuerza, aproximadamente 400 N.
Relación de la palanca.	15:1
Valor de frenado.	Debe producir un 20% del frenado total.
Deceleración media.	Mínimo, 1,5 m/s^2.
Potencia de frenado.	Tiene que detener completamente el vehículo en una pendiente, igual a la que pueda subir.

↑ **Tabla 7.3.** Tabla ejemplo con las características del freno auxiliar y de estacionamiento de un automóvil.

1.2. Categorías de vehículos y tipo de función de frenado que deben montar

Categoría	Servicio	Socorro	Estacionamiento	Dispositivo antibloqueo
Ciclomotor de dos y de tres ruedas, cuatriciclos ligeros, motocicletas con o sin sidecar.	SÍ	SÍ		
Vehículos de tres ruedas y cuatriciclos.	SÍ	SÍ	SÍ	
M1 - M2 - N1 - N2	SÍ	SÍ	SÍ	
M3 - N3	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ (1)
(1) Autobuses de m s de 12.000 kg, excepto los de clase I (seg n el Reg. 36 de Ginebra).				

↑ **Tabla 7.4.** Tabla de la función de frenado que deben llevar vehículos de las principales categorías.

2. Dinámica del frenado

El par motor transmitido a las ruedas genera una fuerza de impulsión (*Fi*) que transmitida a la masa del vehículo, provoca su desplazamiento.

El trabajo desarrollado en este desplazamiento es equivalente a la energía cinética del vehículo. El trabajo será igual a la fuerza aplicada en el vehículo (*Fi*) por el espacio recorrido (*e*).

Trabajo de frenado (*Tf*) = Energía cinética del vehículo

$$\left.\begin{array}{l} T = Fi \cdot e \\ Ec = \dfrac{1}{2}\, m \cdot v^2 \end{array}\right\} \quad Tf = Fi \cdot e = m \cdot a \cdot e = \frac{1}{2}\, m \cdot v^2$$

Siendo:

recuerda

1 N · m = 1 J

1 W · s = 1 J

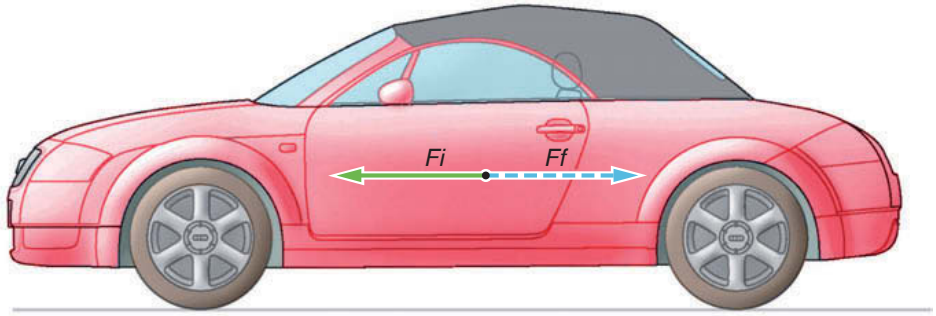
T = Trabajo desarrollado (N · m = julios) = energía cinética

Fi = Fuerza de impulsión

m = masa del vehículo

a = aceleración

Para detener un vehículo, es necesario aplicarle una fuerza de sentido contrario a la fuerza de impulsión, esta fuerza se conoce como fuerza de frenado (*Ff*) (véase figura 7.2).



↑ **Figura 7.2.** Fuerza de impulsión y fuerza de frenado.

El frenado consiste en absorber y transformar la energía cinética del movimiento del vehículo en energía calorífica por medio del rozamiento entre superficies. Los dispositivos empleados para ello son los discos y pastillas de freno y los tambores y zapatas de freno.

Para calcular las fuerzas de frenado que se deben aplicar en los dispositivos de frenado de los vehículos, así como el trabajo y la potencia de frenado, se deben despreciar factores como la velocidad del viento, la pendiente del terreno, la aerodinámica, etc.

Se emplean idénticas fórmulas que las utilizadas para cálculos normales de trabajo y potencia, pero hay que tener en cuenta que en este caso la aceleración es negativa (desaceleración).

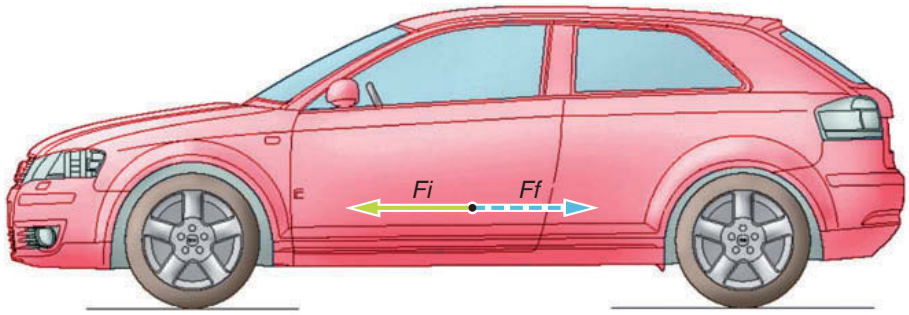
2.1. Fuerza de frenado

La fuerza de frenado (*Ff*) necesaria para detener un vehículo se calcula gracias a la fórmula corregida de la fuerza que es necesaria aplicar en una masa para producir una aceleración.

$$Fi = \text{masa} \cdot \text{aceleración}$$

Y la fuerza de frenado:

$$Ff = \text{masa} \cdot \text{deceleración}$$



↑ **Figura 7.3.** Fuerza de frenado.

EJEMPLOS

■ **Calcula el trabajo de frenado en N · m (julios) que se aplica a un turismo que tiene una masa de 1.500 kg y se desplaza a una velocidad de 90 km/h.**

Solución:

Calcular la velocidad en m/s, aplicando la conversión de 1 km/h = 0,277 m/s.

$$90 \text{ km/h} = 24{,}93 \text{ m/s}$$

Aplicando la fórmula de trabajo de frenado, $Tf = \frac{1}{2} m \cdot v^2$

Trabajo de frenado = Trabajo desarrollado

$$Tf = \frac{m \cdot v^2}{2} = \frac{1.500 \text{ kg} \cdot (24{,}93 \text{ m/s})^2}{2} = \frac{1.500 \text{ kg} \cdot 621{,}5 \text{ m}^2/\text{s}^2}{2}$$

$$Tf = 466{,}128 \text{ N} \cdot \text{m}$$

■ **Calcula la fuerza de frenado que se debe aplicar en un turismo que tiene una masa de 1.500 kg y desacelera a una velocidad de 5 m/s².**

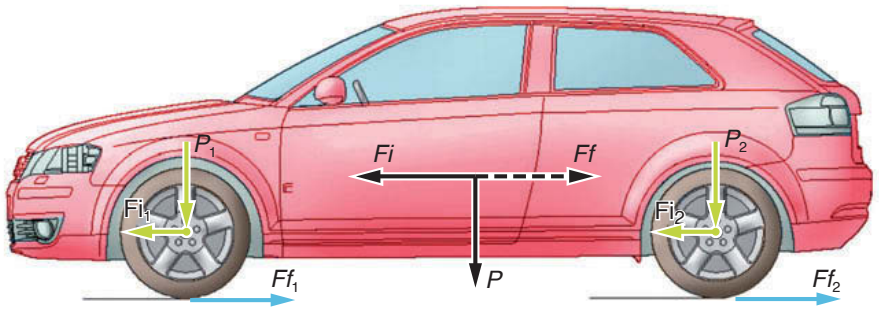
Solución:

$$Ff = \text{masa} \cdot \text{deceleración}$$

$$Ff = 1.500 \text{ kg} \cdot 5 \text{ m/s}^2 = 7.500 \text{ N}$$

2.2. Fuerza de frenado máxima (sin deslizamiento)

La fuerza de impulsión (*Fi*) que se puede aplicar al vehículo para que no exista deslizamiento, se calcula tomando en consideración el coeficiente de rozamiento o adherencia del neumático con el terreno, al igual que ocurre con la fuerza de frenado (*Ff*).



↑ **Figura 7.4.** Fuerza de impulsión.

recuerda

1 newton es la fuerza que produce la masa de 1 kg con una aceleración de 1 m/s².

1 N = 1 kg · 1 m/s²

La fuerza de frenado máxima (Ff_m) que se debe contrarrestar con la fuerza de impulsión (*Fi*), depende del peso del vehículo y del coeficiente de adherencia del neumático y el terreno (μ_a).

$$Ff_1 = P_1 \cdot \mu_a = Fi_1$$

$$Ff_2 = P_2 \cdot \mu_a = Fi_2$$

Por lo tanto:

$$Ff = Ff_1 + Ff_2 = (P_1 + P_2) \cdot \mu_a$$

$$Ff = P \cdot \mu_a$$

El coeficiente de adherencia depende del desgaste del neumático, de la velocidad y del tipo de terreno o superficie por la que se desplaza. En la siguiente tabla podemos ver los valores indicativos de coeficientes de adherencia.

Velocidad de marcha	Estado de los neumáticos	Calzada seca	Calzada mojada (nivel de agua 0,2 mm)	Lluvia fuerte (nivel de agua 1 mm)	Charcos de agua (nivel de agua 2 mm)	Con hielo (placa de hielo)
km/h	**μ_a**	**μ_a**	**μ_a**	**μ_a**	**μ_a**	**μ_a**
50	nuevo	0,85	0,65	0,55	0,5	0,1 o menor
	desgastado	1	0,5	0,4	0,25	
90	nuevo	0,8	0,6	0,3	0,05	
	desgastado	0,95	0,2	0,1	0	
130	nuevo	0,75	0,55	0,2	0	
	desgastado	0,9	0,2	0,1	0	

↑ **Tabla 7.5.** Coeficiente de rozamiento aproximado de un neumático de verano sobre diferentes calzadas.

La fuerza de frenado en cada eje del vehículo es proporcional al reparto de peso en los ejes.

$$Ff_{máxima} = P \cdot \mu_a;$$

$$\mu_a = \frac{Ff_{máxima}}{P}$$

El reparto de peso con el vehículo parado se denomina **carga estática.** Este reparto de peso se modifica cuando el vehículo se desplaza. El reparto de peso con el vehículo en movimiento se denomina **carga dinámica,** y depende de la velocidad que alcance el vehículo, de la posición del centro de gravedad, de la distancia entre ejes y de la dureza de la suspensión.

El valor medio de la carga dinámica en el eje delantero es un 20% superior a la carga estática y un 20% inferior en el eje trasero.

Los sistemas de freno se diseñan teniendo en consideración los valores de las cargas dinámicas que el vehículo soporta como consecuencia del desplazamiento. Esto se realiza instalando correctores de frenado en el eje trasero para reducir la presión y la fuerza de frenado en el eje y adaptando el sistema de freno al peso que soportan los ejes.

recuerda

$P = m \cdot g$

Donde:

P: peso, en newton (N)

m: masa, en kilogramos (kg)

g: aceleración de la gravedad (9,8 m/s²)

EJEMPLOS

■ **Calcula la fuerza de frenado máxima que se puede aplicar en un turismo de 1.200 kg de masa y que monta unos neumáticos capaces de aplicar un coeficiente de adherencia al terreno de $\mu_a = 0{,}75$.**

Solución:

$$P = 1.200 \text{ kg} \cdot 9{,}8 \text{ m/s}^2 = 11.760 \text{ N}$$

$$Ff_{máx} = P \cdot \mu_a$$

$$Ff_{máx} = 11.760 \text{ N} \cdot 0{,}75 = 8.820 \text{ N}$$

■ **Tomando como ejemplo el caso de la actividad anterior, con un vehículo de 1.200 kg de masa, con un coeficiente de adherencia de 0,75, y conociendo que tiene un reparto de peso del 60% en el eje delantero y un 40% en el eje trasero, calcula las fuerzas de frenado máximas por eje.**

Solución:

1. Calcular el peso que soporta cada eje:

   Eje delantero: $\frac{1.200 \text{ kg} \cdot 60}{100} = 720 \text{ kg} \cdot 9{,}8 \text{ m/s}^2 = 7.056 \text{ N}$

   Eje trasero: $\frac{1.200 \text{ kg} \cdot 40}{100} = 480 \text{ kg} \cdot 9{,}8 \text{ m/s}^2 = 4.704 \text{ N}$

2. Calcular la fuerza de frenado máxima por eje:

   Eje delantero: $Ff_d = 7.056 \text{ N} \cdot 0{,}75 = 5.292 \text{ N}$

   Eje trasero: $Ff_t = 4.704 \text{ N} \cdot 0{,}75 = 3.528 \text{ N}$

   $Ff_{total} = Ff_d + Ff_t$; 5.292 N + 3.528 N = 8.820 N

2.3. Deceleración

La deceleración que se produce en el proceso de frenado se calcula aplicando fórmulas similares a las del cálculo de la aceleración, pero anteponiendo el símbolo menos (–).

$$\text{Aceleración, } a = \frac{\Delta \text{ velocidad}}{\text{tiempo}} = \frac{\text{Incremento de velocidad}}{\text{tiempo}}$$

$$\text{Deceleración, } d = -\frac{\Delta \text{ velocidad}}{\text{tiempo}} = -\frac{\text{Decremento de velocidad}}{\text{tiempo de parada}} = -\frac{v_{\text{inicial}} - v_{\text{final}}}{\text{tiempo}}$$

EJEMPLO

Un vehículo circula a una velocidad de 70 km/h, y se somete a un proceso de frenado que dura 5 segundos hasta llegar a detenerse. Calcula la desaceleración en la frenada.

Solución:

$$\text{Deceleración} = -\frac{\Delta \text{ velocidad}}{\text{tiempo}} = -\frac{v_{\text{inicial}} - v_{\text{final}}}{\text{tiempo}}$$

$$\text{Deceleración} = -\frac{70 \text{ km/h} - 0 \text{ km/h}}{5 \text{ s}} = -\frac{(70 \cdot 1.000 \text{ m}/3.600 \text{ s}) - 0}{5 \text{ s}} = -\frac{19 \text{ m/s}}{5 \text{ s}} = -3{,}8 \text{ m/s}^2$$

2.4. Eficacia del frenado

↑ **Figura 7.5.** Prueba dinámica de la eficacia de frenado de un vehículo industrial.

La deceleración que sucede durante el proceso de frenado determina la eficacia del sistema de frenos del vehículo. La máxima deceleración que se puede producir en la operación de frenado es la aceleración o deceleración de la gravedad.

$$d = 9{,}8 \text{ m/s}^2$$

Se considera eficacia de los frenos al 100% cuando la deceleración de frenado es de 9,8 m/s^2.

$$\text{Eficacia \%} = \frac{\text{deceleración}}{\text{gravedad}} \cdot 100$$

Por lo tanto, la eficacia del sistema de freno y del comportamiento del vehículo en general dependerá del coeficiente de adherencia (μ) entre rueda y terreno, de la fuerza de frenado que se aplique a los discos o tambores y del peso que soporte el vehículo.

EJEMPLO

Calcula la eficacia del frenado para un vehículo que circula a una velocidad de 70 km/h y al frenar se detiene en un tiempo de 5 segundos.

Solución:

La deceleración que se produce es:

$$\text{Deceleración} = -\frac{v_{\text{inicial}} - v_{\text{final}}}{\text{tiempo}} = -\frac{70 \text{ km/h} - 0 \text{ km/h}}{5 \text{ s}} = -\frac{19 \text{ m/s}}{5 \text{ s}} = -3{,}8 \text{ m/s}^2$$

$$\text{Eficacia} = \frac{\text{deceleración durante el frenado}}{\text{gravedad}} \cdot 100 = \frac{3{,}8 \text{ m/s}^2}{9{,}8 \text{ m/s}^2} \cdot 100 = 38{,}7\%$$

3. Aplicación de la fuerza de frenado, generación

Una vez conocida la magnitud de la fuerza de frenado y la aplicación idónea, en función del peso que soportan los ejes, el vehículo debe disponer de los dispositivos que originen y generen la fuerza de frenado. Los dispositivos de freno de ruedas más empleados son los frenos de disco y los frenos de tambor.

En los sistemas de freno de disco o de tambor, la fuerza de frenado se produce por fricción entre el elemento que se desplaza, discos o tambores, y el elemento estático, pastillas o zapatas.

En motocicletas y en algunos automóviles antiguos, la fuerza de frenado (*Ff*) que es necesario aplicar para frenar el vehículo es generada de manera directa por el conductor. En los automóviles actuales y en los vehículos industriales, el conductor no puede ejercer la suficiente fuerza en el pedal de freno para detener el vehículo; por ello, la fuerza de frenado se multiplica por medio de palancas o circuitos hidráulicos o neumáticos, con lo que se consigue así aplicar una gran fuerza de frenado sobre los mecanismos del sistema de freno.

↑ **Figura 7.6.** Accionamiento sobre el pedal de freno.

3.1. Fuerza de frenado en el sistema de freno de tambor

La fuerza de frenado que se aplica en los tambores por el coeficiente de rozamiento entre estos y el ferodo de las zapatas (μ: ± 0,3 a 0,6) da como resultado la fuerza real del freno. El diseño de los frenos de tambor permite aumentar la fuerza de rozamiento real.

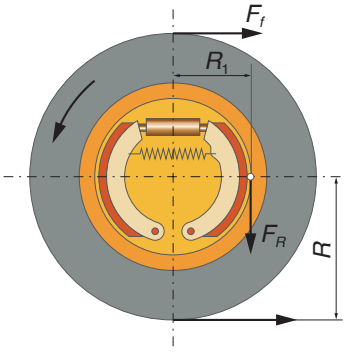
Una de las zapatas, la primaria, se acopla contra el tambor permitiendo que se supere la fuerza de frenado por la fuerza de rozamiento (autoreforzamiento). La relación entre la fuerza de frenado y la fuerza de rozamiento real determina el coeficiente de acoplamiento (*K*). Cada diseño de frenos de tambor se asocia a un coeficiente (*K*) distinto:

$$Ff_r = Ff \cdot K \cdot \mu$$

Ff_r: fuerza de frenado real

K: coeficiente de acoplamiento

μ: coeficiente de rozamiento entre el ferodo de la zapata y el tambor



↑ **Figura 7.7.** Fuerza de rozamiento en frenos de tambor.

3.2. Fuerza de frenado en el sistema de freno de disco

Los frenos de disco aplican la fuerza de frenado, a través de los émbolos, directamente sobre las pastillas. Esta fuerza se multiplica por el coeficiente de rozamiento (μ) que existe entre las pastillas y el disco para obtener la fuerza de rozamiento real que el conjunto produce.

$$Ff_r = Ff \cdot \mu$$

Para que la fuerza de rozamiento final sea la misma que en el freno de tambor, en los sistemas de freno de disco es necesario aplicar una fuerza mayor sobre el sistema de mando. Debido al sistema de presión, el factor multiplicador (*K*) no se aplica en los frenos de disco.

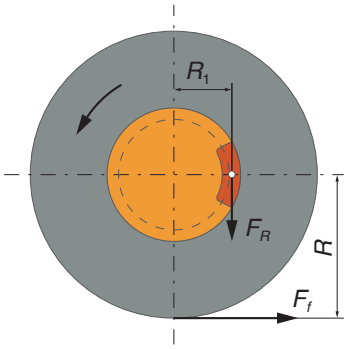
caso práctico inicial

En el vehículo de competición se montan discos de freno de mayor diámetro con el objetivo de aumentar el par de frenado.

La fuerza se aplica directamente sobre el disco de freno para transformar la energía cinética del vehículo y frenarlo.

El par de frenado (Cm_f) que se produce en el disco es igual a la fuerza de rozamiento real (F_R) por la distancia, que es el radio del disco (R_1), medido en el centro de las pastillas de freno.

$$Cm_f = F_R \cdot R_1$$



↑ **Figura 7.8.** Fuerza de frenado en frenos de disco.

EJEMPLOS

■ **Calcula la fuerza de rozamiento real que se produce en los frenos de tambor con un coeficiente de rozamiento μ = 0,45 y un coeficiente de acoplamiento *K* de 3.**

Solución:

Si la fuerza de frenado que el conductor transmite sobre las zapatas es de 3.000 N, aplicando la fórmula:

$$Ff_r = Ff \cdot K \cdot \mu$$

$$Ff_r = 3.000\ \text{N} \cdot 3 \cdot 0{,}45 = 4.050\ \text{N}$$

■ **Calcula la fuerza de rozamiento real que produce en un freno de disco con un coeficiente de rozamiento (μ) de 0,45 y con una fuerza de frenado de 3.000 N que el conductor transmite a las pastillas.**

Solución:

Aplicando la fórmula:

$$Ff_r = Ff \cdot \mu$$

$$Ff_r = 3.000\ \text{N} \cdot 0{,}45 = 1.350\ \text{N}$$

■ **Conociendo la fuerza de frenado real que se produce en el freno de disco del ejercicio anterior y teniendo en cuenta que el punto medio de aplicación de la fuerza de frenado es R_1 = 150 mm, calcula el par de frenado que se produce al frenar.**

Solución:

$$Cm_f = F_R \cdot R_1$$

$$Cm_f = 1.350\ \text{N} \cdot 0{,}15\ \text{m} = 202{,}5\ \text{N} \cdot \text{m}$$

3.3. Distancia de parada o detención

La distancia de parada o detención es el espacio que recorre un vehículo desde que se activa el sistema de frenado hasta que el vehículo se detiene por completo. La distancia que el vehículo recorre depende principalmente de:

- Fuerza de frenado (*Ff*).
- Adherencia (μ_a).
- Velocidad del vehículo.

Para calcular, aproximadamente, la distancia que recorre el vehículo hasta detenerse, se emplea la siguiente fórmula:

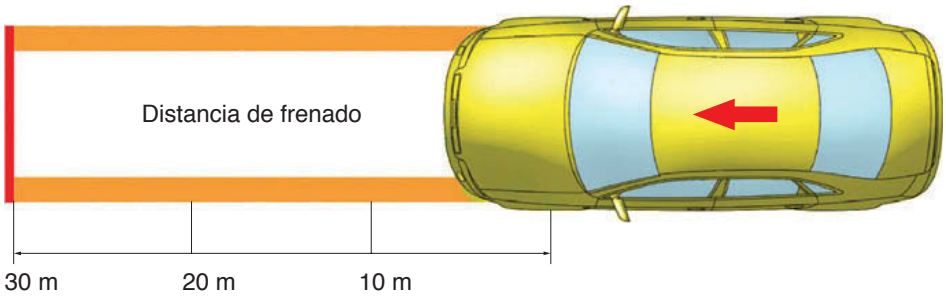
$$e = \frac{v^2}{E \cdot 254}$$

Donde:

e = la distancia de detención en metros

E = la eficacia del sistema de frenos en %

v = velocidad en km/h



↑ **Figura 7.9.** Distancia que recorre el vehículo durante el frenado.

EJEMPLO

Calcula la distancia que necesita un automóvil que circula a 95 km/h para detenerse. El vehículo está equipado con sistema de freno con una eficacia del 85%.

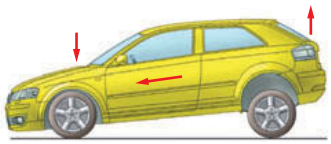
Solución:

$E = 85\%$

$$e = \frac{v^2}{E \cdot 254} = \frac{95^2}{0{,}85 \cdot 254} = \frac{9.025}{2.159} = 41{,}8 \text{ metros}$$

3.4. Efectos del frenado sobre la estabilidad

La operación de frenado produce en el vehículo distintos efectos que intervienen de manera directa sobre la estabilidad, la direccionabilidad y la marcha del mismo. A continuación se citan los efectos más importantes.



↑ **Figura 7.10.** Basculación del vehículo sobre el eje delantero.

Basculación del vehículo sobre el eje delantero

Este fenómeno provoca una sobrecarga dinámica del peso sobre el eje delantero y una descarga del eje trasero. En esta situación, la adherencia de las ruedas delanteras aumenta y la adherencia de las ruedas traseras disminuye. En frenadas fuertes, el eje trasero se puede llegar a bloquear. El empleo del corrector de frenada en el eje trasero evita en gran medida el bloqueo de estas ruedas.

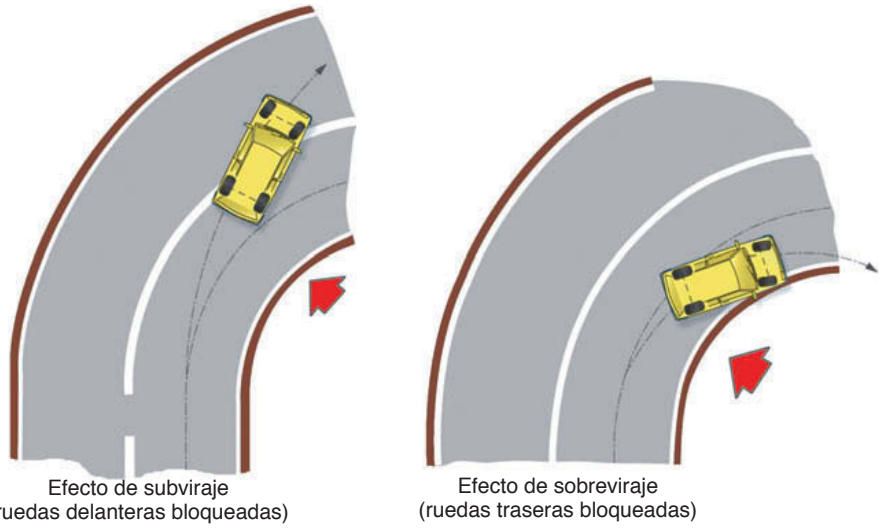
↑ **Figura 7.11.** Basculación del vehículo en una frenada de emergencia.

Bloqueo de las ruedas delanteras y pérdida de la trayectoria

El bloqueo de las ruedas delanteras en el frenado produce una pérdida de control de la dirección y de la trayectoria del vehículo. El vehículo se desplaza hacia donde existe mayor deslizamiento. En la trayectoria por curva, se produce el efecto de **subviraje** del tren delantero, las ruedas no obedecen a la dirección y el eje delantero se desplaza hacia el exterior de la curva.

Bloqueo de las ruedas traseras

En esta situación, el vehículo tiende a girar sobre sí mismo. En la trayectoria por curva, se produce el efecto de **sobreviraje** del vehículo, el eje trasero del vehículo se desplaza hacia el exterior de la curva pivotando sobre el eje delantero.



↑ **Figura 7.12.** Efectos del frenado sobre la estabilidad del vehículo.

Pérdida de la trayectoria sin bloqueo de las ruedas

Este efecto se produce por un frenado desequilibrado en las ruedas: una rueda frena más que la compañera del mismo eje. Cuando la adherencia sobre el terreno es la misma, el fallo se debe a defectos en el circuito y dispositivos de freno. Este efecto se ve aumentado con una mayor velocidad.

saber más

Los dispositivos de ABS/ESP que se instalan actualmente en los vehículos ayudan a disminuir y corregir los problemas de estabilidad que se producen durante el frenado.

3.5. Refrigeración de los elementos del circuito

En el frenado, la energía cinética del vehículo se transforma en calor. Este calor es disipado por los elementos del sistema de freno, los cuales, aun soportando altísimas temperaturas, permiten seguir frenando sin pérdida de eficacia.

En los sistemas de freno de tambor y zapatas, la temperatura que se alcanza en el tambor cuando se solicita continuamente es de alrededor a los 400 °C. En este sistema, el tambor se dilata y las zapatas pierden superficie de contacto (véase figura 7.13), con lo que se pierde la eficacia del conjunto.

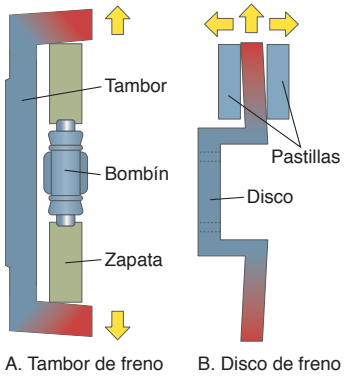
En los sistemas de freno de disco el calor también dilata el disco, pero la dilatación de este refuerza el efecto frenante ya que se presiona con más fuerza el disco contra las pastillas.

Las zapatas y las pastillas de freno tienen que mantener el coeficiente de rozamiento (μ) sin alterarse por las altas temperaturas. Es por ello que continuamente se está innovando con materiales de fabricación que soportan mejor las temperaturas y evitan que se produzca el denominado **efecto fading.**

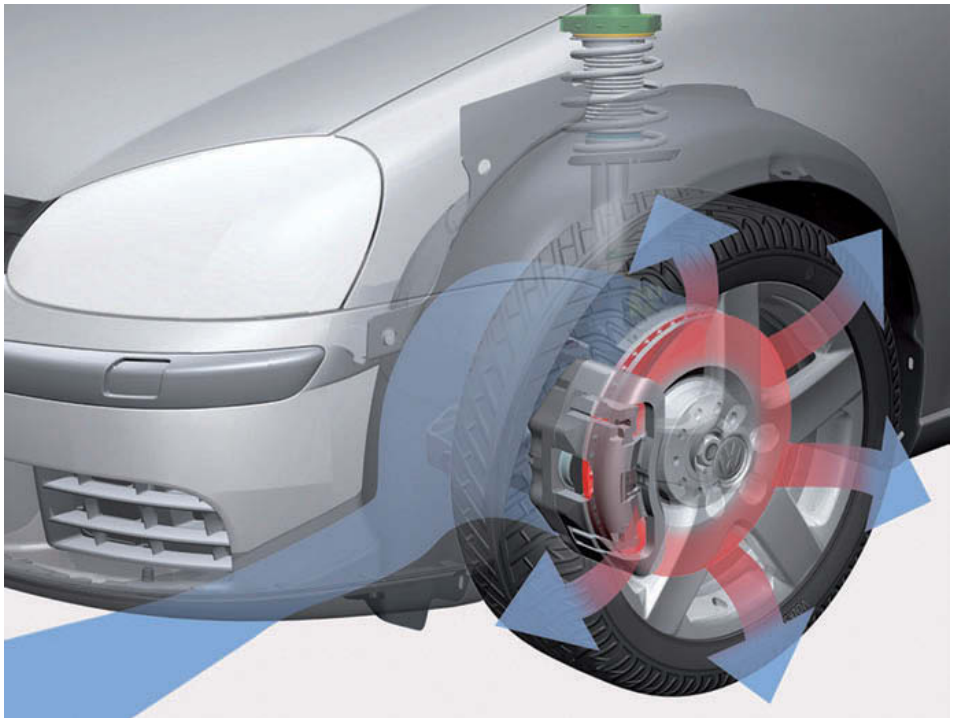
De igual manera, el líquido del circuito de freno se debe mantener estable y no perder sus propiedades por la temperatura. Para ello, los fabricantes montan líquidos de frenos adecuados a las características técnicas del vehículo.

Las soluciones para refrigerar los componentes del circuito de freno son:

- Utilizar discos autoventilados, con taladros y ranuras internas que ayuden a canalizar el aire y a evacuar el calor del disco.
- Fabricar los tambores con pequeñas aletas que evacuen el calor.
- Sobredimensionar el conjunto de freno.
- Fabricar las carrocerías con conductos específicos para canalizar el aire contra los discos, pastillas y pinzas.



↑ **Figura 7.13.** Efecto de la temperatura en el tambor y en el disco.

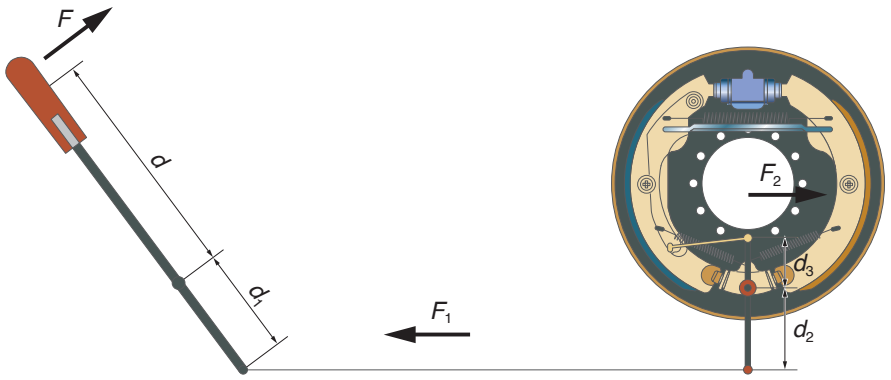


↑ **Figura 7.14.** Refrigeración de los frenos de disco.

4. Sistemas de mando o accionamiento

4.1. Mando mecánico con varillas o cables

Antiguamente, este tipo de mando se utilizaba en vehículos como el Ford T para accionar el freno de servicio. En la actualidad queda relegado en los automóviles para el accionamiento el freno de estacionamiento y en algunos ciclomotores y motocicletas con frenos de tambor para el accionamiento del freno de servicio.



↑ **Figura 7.15.** Ejemplo de dispositivo de freno de mano de automóvil por palancas y cable.

saber más

No todos los modelos de automóviles disponen de palanca de accionamiento manual para el freno de estacionamiento.

Fabricantes como Mercedes-Benz, Citroën, etc., montan un pedal para accionar el freno y una manilla para el desbloqueo.

La acción de frenado se realiza a gracias a una palanca que tira de un cable y acciona los dispositivos de freno de las ruedas, tambores o discos. La fuerza que ejercen las palancas del dispositivo se calculan mediante la siguiente fórmula:

$$F \cdot d = F_1 \cdot d_1; F_2 \cdot d_3 = F_1 \cdot d_2$$

$$F = F_1 \cdot \frac{d_1}{d}; F_2 = F_1 \cdot \frac{d_2}{d_3}$$

Despejando las ecuaciones, se pueden calcular las fuerzas que transmite el accionamiento del freno por medio de los distintos brazos de palanca.

EJEMPLO

Calcula la fuerza (F_2) que se aplica en el siguiente esquema del freno de estacionamiento, sabiendo que el conductor realiza una fuerza de 100 N.

Solución:

1. $F \cdot d = F_1 \cdot d_1; F_1 = \frac{F \cdot d}{d_1}; F_1 = \frac{100\ \text{N} \cdot 250\ \text{mm}}{50\ \text{mm}}; F_1 = \frac{2.500\ \text{N}}{5} = 500\ \text{N}$

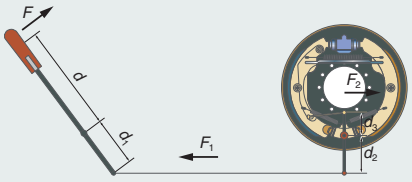
   F_1 = 500 N es la fuerza que la palanca realiza y el cable transmite al mecanismo de tambor.

2. La fuerza F_1 de 500 N se aplica sobre la palanca del mecanismo del tambor:

   $$F_1 \cdot d_2 = F_2 \cdot d_3;$$

   Despejando F_2 calculamos la fuerza que se aplica sobre las zapatas:

   $$F_2 = F_1 \cdot \frac{d_2}{d_3} = \frac{500\ \text{N} \cdot 150\ \text{mm}}{30\ \text{mm}}; \frac{500\ \text{N} \cdot 15}{3} = 2.500\ \text{N}$$



Palanca de accionamiento:
d = 250 mm
d_1 = 50 mm
Palanca del tambor:
d_2 = 150 mm
d_3 = 30 mm

↑ **Figura 7.16.**

4.2. Accionamiento hidráulico

El accionamiento hidráulico soluciona los innumerables problemas que ocasionan los accionamientos por varillas o cables. Este tipo de accionamiento se ha impuesto en los automóviles y vehículos ligeros. El circuito se compone básicamente de una bomba, un depósito, canalizaciones, émbolos de accionamiento, dispositivos correctores y de ayuda en la frenada.

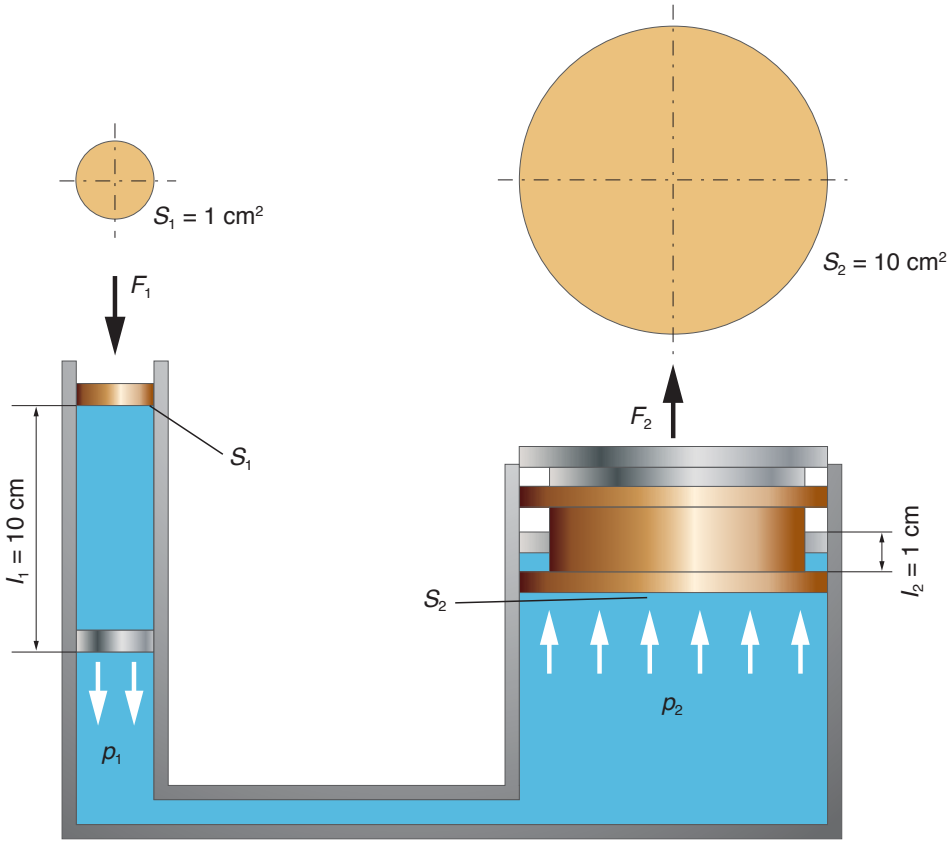
El circuito de freno hidráulico está basado en los principios de la hidrostática, el reparto de las presiones en todo el circuito (principio de Pascal), y la incompresibilidad de los líquidos.

Cuando el conductor pisa el pedal de freno, empuja el émbolo de la bomba y genera un caudal de líquido que se transforma en presión hidráulica. Al ser el circuito de freno un circuito cerrado, la presión se transmite por el líquido a través de las canalizaciones hasta empujar los émbolos de accionamiento de los actuadores.

El circuito hidráulico permite aumentar la fuerza que se aplica a la bomba y transmitirla a los émbolos de accionamiento.

Tomando como ejemplo el circuito de la figura 7.17, la fuerza aplicada en el émbolo de sección menor F_1 de 10 N, es aumentada por el circuito hidráulico en la misma relación que la superficie de los émbolos, generadores y actuadores. En este caso, la fuerza transmitida por el émbolo mayor, sección F_2, será 10 veces superior, F_2 = 100 N.

De la misma manera, el espacio recorrido por el émbolo de mayor sección será diez veces menor que el espacio que recorrerá el émbolo del accionamiento de menor sección.



↑ **Figura 7.17.** Representación de un circuito de freno hidráulico.

saber más

El sistema de mando hidráulico fue inventado por Malcon Loughead en 1923.

recuerda

Según el principio de Pascal, la presión ejercida en un punto de un líquido dentro de un recipiente cerrado, se transmite íntegramente a todos los demás puntos.

Por lo tanto, la presión en un punto en el circuito hidráulico de los frenos se transmite inmediatamente e íntegramente a todos los puntos del circuito.

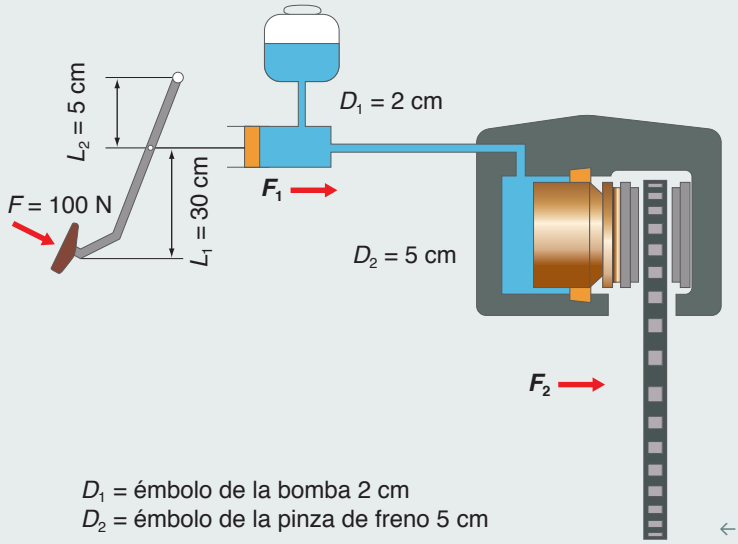
saber más

Fórmula de la presión

$$p = \frac{F}{s} = \frac{\text{Fuerza}}{\text{superficie}}$$

EJEMPLOS

■ Sobre el pedal de freno se ejerce una fuerza de 100 N. Calcula la fuerza que transmite sobre las pastillas el émbolo de la pinza de freno del circuito del dibujo. Se debe tener en cuenta la longitud de la palanca del pedal y los diámetros del émbolo de la bomba y del émbolo de la pinza.



D_1 = émbolo de la bomba 2 cm
D_2 = émbolo de la pinza de freno 5 cm

← **Figura 7.18.**

Solución:

$$F \cdot L_1 = F_1 \cdot L_2$$

$$F_1 = \frac{100\ \text{N} \cdot 30\ \text{cm}}{5\ \text{cm}} = 600\ \text{N}$$

La fuerza aplicada sobre el émbolo de la bomba es de 600 N. La presión del circuito se calcula:

$$p = \frac{F}{s}$$

La superficie del émbolo de la bomba se calcula:

S_1 = superficie del émbolo de la bomba.

$$S_1 = \frac{\pi \cdot D_1^2}{4}; \frac{3{,}14 \cdot (2\ \text{cm})^2}{4} = 3{,}14\ \text{cm}^2$$

Por lo tanto, la presión en todo el circuito será:

$$p = \frac{600\ \text{N}}{3{,}14\ \text{cm}^2} = 191{,}05\ \text{N/cm}^2 = 19{,}1\ \text{bar};\ 1\ \text{bar} = 10\ \text{N/cm}^2$$

Para calcular la fuerza que realiza el émbolo de la pinza se despeja de la siguiente fórmula:

$$F_2 = p \cdot S_2$$

F_2 = Fuerza del embolo de la pinza.

S_2 = superficie del émbolo de la pinza.

$$S_2 = \frac{\pi \cdot D_2^2}{4} = \frac{3{,}14 \cdot (5\ \text{cm})^2}{4} = \frac{3{,}14 \cdot 25}{4} = 19{,}62\ \text{cm}^2$$

Para calcular la fuerza que realiza el émbolo, es conveniente transformar la presión en bar a N/cm^2.

$$19{,}1 \text{ bar} = 191{,}08 \text{ N/cm}^2$$

$$F_2 = p \cdot S_2$$

$$F_2 = 191{,}08 \text{ N/cm}^2 \cdot 19{,}62 \text{ cm}^2 = 3.742{,}6 \text{ N}$$

El circuito hidráulico aumenta la fuerza inicial de 600 N que se aplica en la bomba hasta una fuerza de 3.743,6 N aplicados por el embolo de la pinza, es decir, la fuerza se multiplica por 6,23. En esa misma proporción, pero a la inversa, se desplazará el embolo de la pinza.

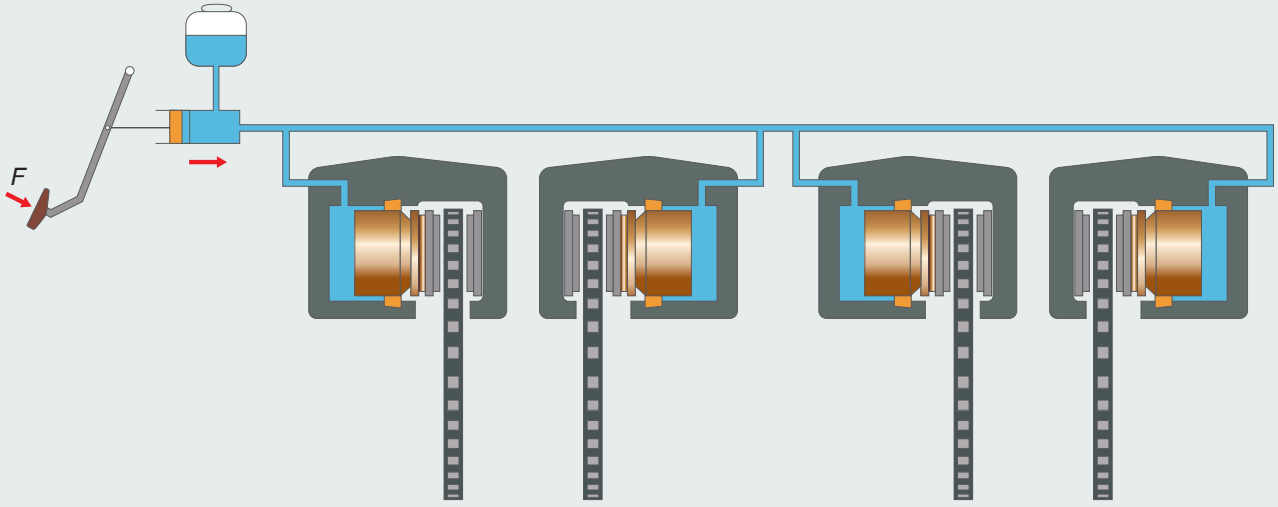
■ **El émbolo de la bomba, del ejemplo de la actividad anterior, se ha desplazado para frenar 30 milímetros. Calcula el desplazamiento del émbolo de la pinza de freno del ejemplo anterior.**

Solución:

C_e = carrera del émbolo de la pinza

$$C_e = \frac{\text{desplazamiento del émbolo de la bomba}}{\text{relación entre la bomba y la pinza}} = \frac{30 \text{ mm}}{6{,}23} = 4{,}8 \text{ mm}$$

■ **Si el circuito de freno del ejemplo de la actividad resuelta anterior contase con cuatro pinzas con émbolos de igual diámetro, el desplazamiento de cada émbolo será la distancia que se desplaza el émbolo de la bomba (ejemplo 4,8 mm) repartida entre los cuatro émbolos de las pinzas.**



↑ **Figura 7.19.**

Solución:

C_e = 4,8 mm

C_i = carrera individual de cada émbolo

$$C_i = \frac{C_e}{\text{nº de émbolos}} = \frac{4{,}8 \text{ mm}}{4} = 1{,}2 \text{ mm}$$

5. Circuito de frenado con fuerza auxiliar

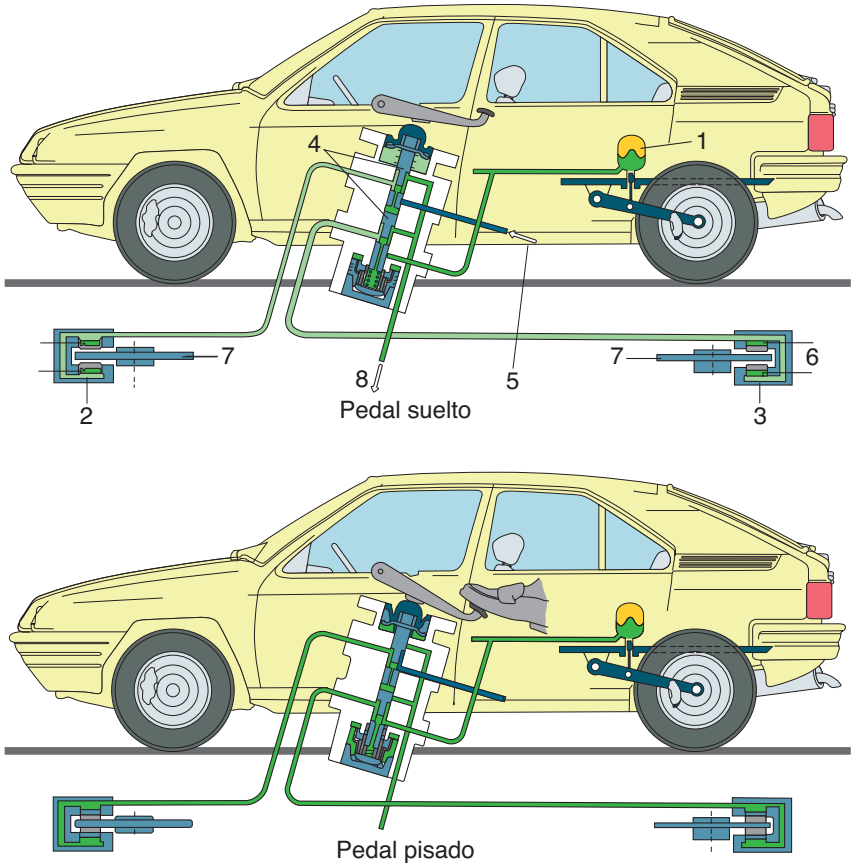
Cuando se necesita realizar una gran fuerza de frenado para detener el vehículo, ya sea por una carga excesiva o por el propio peso del vehículo (camiones, autobuses, etc.), es necesario disponer de circuitos auxiliares que proporcionen la fuerza adecuada al sistema de freno, sin que el conductor realice gran esfuerzo. Los circuitos de freno con fuerza auxiliar más empleados son:

- Circuitos con fuerza auxiliar hidráulica.
- Circuitos con fuerza auxiliar neumática.

5.1. Circuito con fuerza auxiliar hidráulica

Los circuitos de freno con fuerza auxiliar hidráulica se emplean mayoritariamente en automóviles y vehículos industriales ligeros. Estos circuitos de freno utilizan, como fuente de presión, una bomba hidráulica accionada por el motor. La bomba de freno de pedal se sustituye por una válvula dosificadora y compensadora, y el resto de elementos son similares a los empleados en los circuitos de freno convencionales.

Cuando el conductor pisa el pedal de freno, no genera una presión hidráulica, sino que abre una válvula que permite que el líquido a presión llegue a los émbolos de las pinzas de freno o a los bombines de los tambores (véase figura 7.20).



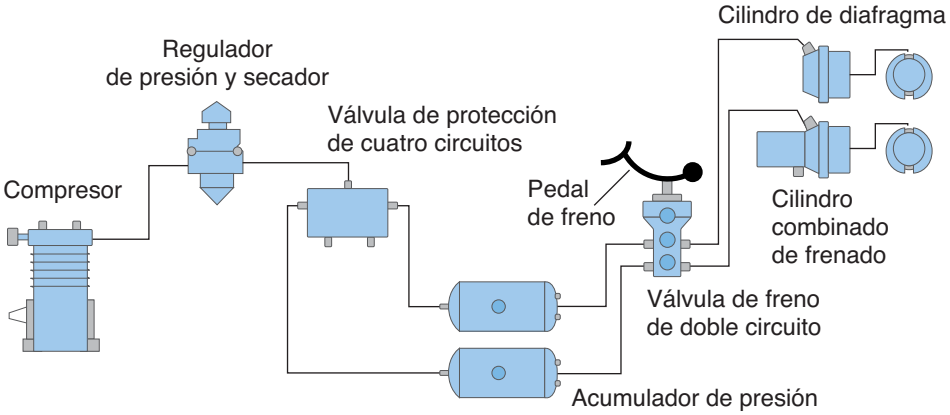
1. Esfera de suspensión trasera
2. Bloque de frenado delantero
3. Bloque de frenado trasero
4. Ejes distribuidores de la válvula dosificadora
5. Llegada de alta presión procedente de un conjuntor-disyuntor
6. Pistones
7. Discos
8. Retorno de utilización de frenos

↑ **Figura 7.20.** Circuito de freno con fuerza auxiliar hidráulica.

5.2. Circuito con fuerza auxiliar neumática

La fuerza auxiliar generada por el aire comprimido se emplea con frecuencia en circuitos de freno para vehículos industriales medianos y pesados con un peso total superior a 7,5 toneladas.

El circuito básico de frenado consta, básicamente, de los siguientes elementos (véase figura 7.21).



↑ **Figura 7.21.** Circuito de freno neumático.

El conductor emplea su fuerza para accionar el cilindro combinado de frenado, que abre el paso de aire a presión hasta los cilindros de diafragma que a su vez accionan los dispositivos de frenado (cilindros de membrana y combinado).

La fuerza que realizan los cilindros de diafragma se calcula partiendo de la presión de tarado del circuito neumático ± 8 bar.

Conociendo la superficie en centímetros cuadrados (cm^2) del cilindro, es fácil calcular la fuerza en newton que es capaz de realizar.

$$p = \frac{F}{S}$$

$$F = p \cdot S$$

EJEMPLO

Calcula la fuerza que realiza un cilindro de diafragma de un camión Iveco, que tiene un diámetro de 20 cm^2. El circuito trabaja a una presión de 8 bar.

Solución:

1. Calcula la superficie en cm^2.

$$S = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{3{,}14 \cdot (20\ cm)^2}{4} = \frac{3{,}14 \cdot 400\ cm^2}{4} = 314\ cm^2$$

2. Calcula la fuerza en newton.

$$F = p \cdot S = 80\ N/cm^2 \cdot 314\ cm^2 = 25.120\ N$$

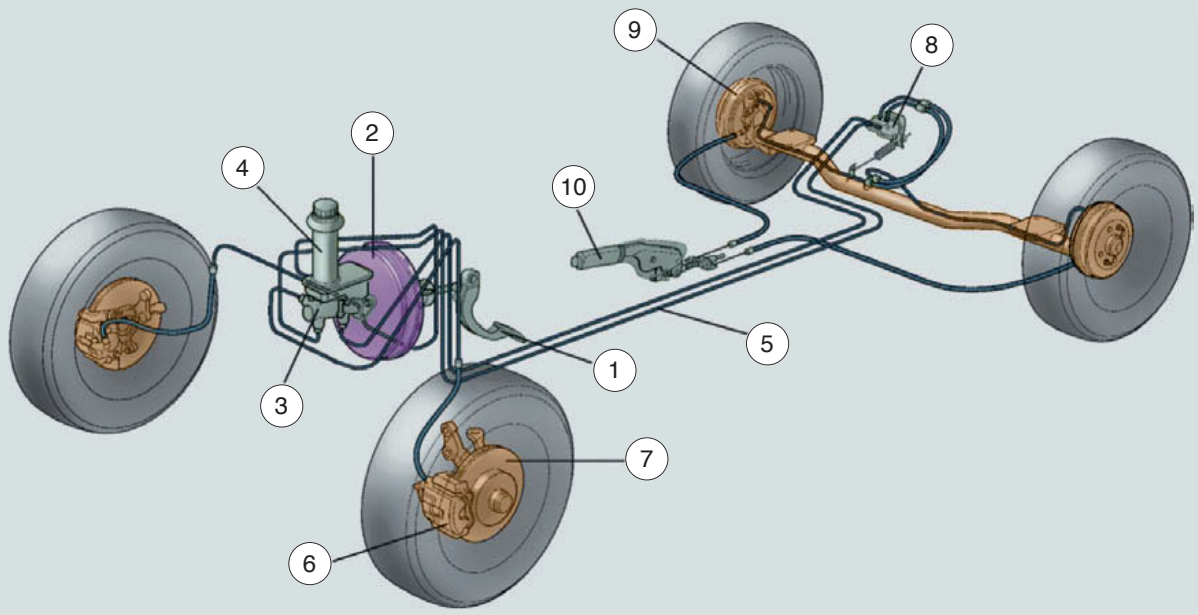
El desplazamiento del émbolo de diafragma no está limitado por el desplazamiento de la bomba de pie, como ocurre con los circuitos hidráulicos de fuerza muscular.

ACTIVIDADES FINALES

1. ¿Qué se entiende por mando del sistema de freno?
2. ¿Qué función cumple el freno de servicio en los vehículos?
3. ¿Qué sistema de freno de ruedas se comporta mejor ante las altas temperaturas que se generan en los discos y tambores? Razona tu respuesta.
4. Explica los dispositivos que se emplean para aminorar y disipar el calor que se genera en los frenos.
5. Explica los efectos de un frenado descompensado sobre la estabilidad del vehículo.
6. Calcula el trabajo, en julios, que se debe aplicar para detener un Porsche 911 que pesa 1.440 kg circulando a 120 km/h, y a 140 km/h. Analiza los resultados.
7. Calcula la fuerza de rozamiento real que se produce en un freno de tambor que tiene un coeficiente de rozamiento $\mu = 0{,}45$ y un coeficiente de acoplamiento K de 2. La fuerza que ejercen los bombines sobre las zapatas es de 3.000 N.

   Razona el resultado comparándolo con el de la actividad resuelta anterior.
8. Calcula la distancia de parada de un vehículo, con una eficacia de los frenos del 85%, a 40, 60, 80, 100, 120, 140 y 160 km/h.

   Realiza una tabla con las distancias y analiza cómo afecta a la distancia de parada la velocidad que lleva el vehículo.
9. Nombra en tu cuaderno los elementos del circuito de freno de la siguiente figura.



↑ **Figura 7.22.**

EVALÚA TUS CONOCIMIENTOS

Resuelve en tu cuaderno o bloc de notas

1. El freno de servicio permite frenar y detener el vehículo. ¿Qué fuerza es la máxima aproximada que se puede realizar con el pie?

a. 200 N.

b. 20 daN.

c. 1.500 N.

d. 800 N.

2. ¿Qué misión tiene el freno auxiliar de un vehículo?

a. Complementar y suplir al freno de servicio en caso de avería.

b. Ayudar en el frenado al freno de servicio.

c. Evitar el bloqueo de las ruedas.

d. Mantener la velocidad constante en bajadas pronunciadas y largas, sin emplear el freno de servicio.

3. ¿Qué categoría de vehículos no debe montar freno de estacionamiento?

a. Vehículos de la categoría M1.

b. Vehículos de tres ruedas.

c. Cuadriciclos.

d. Ciclomotores.

4. ¿Qué coeficiente de rozamiento aproximado tiene un neumático de verano desgastado sobre una calzada seca?

a. 1

b. 0,85

c. 0,50

d. 0,25

5. ¿Por qué se montan discos autoventilados, sobre todo en el eje delantero de los automóviles?

a. Para disminuir el peso no suspendido del vehículo.

b. Para aumentar la evacuación del calor de los discos.

c. Para ventilar mejor las pinzas y los émbolos.

d. Para ventilar mejor el líquido de frenos.

6. En un circuito hidráulico de freno con fuerza auxiliar, ¿qué elemento genera la presión para frenar?

a. El conductor con el pedal del freno.

b. El acompañante con un pedal auxiliar.

c. El servofreno que equipa el circuito.

d. Una bomba hidráulica accionada por el motor.

7. ¿Qué presión de tarado se emplea en la mayoría de los circuitos neumáticos de freno?

a. ± 0,8 bar.

b. ± 18 bar.

c. ± 80 bar.

d. ± 8 bar.

8. ¿Por qué se emplean circuitos de freno tipo dual?

a. Por seguridad en caso de rotura de una canalización de un circuito, el otro sigue operativo.

b. Por estética; los circuitos de freno de tipo dual son más bonitos.

c. Por el peso; los circuitos de freno de tipo dual son más pesados que los simples.

d. Por precio; los circuitos de freno de tipo dual son más baratos.

9. El coeficiente de rozamiento de un neumático es mayor…

a. Si está desgastado.

b. Si está nuevo.

c. El desgaste del neumático no tiene que ver nada con el coeficiente de rozamiento.

10. ¿Qué elemento se monta en los circuitos de freno hidráulicos para corregir la fuerza de frenado con respecto a la carga?

a. La bomba de freno.

b. El corrector de frenado.

c. El correcto de altura.

d. Ninguna de las respuestas anteriores es correcta.

PRÁCTICA **PROFESIONAL**

HERRAMIENTAS

- Herramientas manuales del taller de electromecánica
- Regla metálica

MATERIAL

- Vehículo
- Discos de freno de tamaño diferente

Comparación del par de frenado en un vehículo con dos discos de freno de diferente diámetro

OBJETIVOS

- Conocer cómo se calcula el par de frenado en un sistema de freno de disco.
- Comparar el par de frenado en un vehículo montando dos discos de freno de diferente diámetro.

PRECAUCIONES

El montaje de unos discos de freno de mayor diámetro implica que se deban montar también unas pinzas de freno de mayor tamaño.

DESARROLLO

Con el disco de freno al descubierto, se mide su radio tomando como referencia el centro de la pastilla de freno.

↑ **Figura 7.23.** Medición del radio del disco de freno.

Se toma el mismo valor de la fuerza de frenado real para el cálculo de cada disco. Este valor será 1.200 N.

Montaje con el disco de menor tamaño.

Radio medido: 148 mm; 0,148 m.

$$Cm_f = F_R \cdot R_1$$

$$Cm_f = 1.200\ \text{N} \cdot 0{,}148\ \text{m} = 177{,}6\ \text{N} \cdot \text{m}$$

Montaje con el disco de mayor tamaño.

Radio medido: 151 mm; 0,151 m.

$$Cm_f = F_R \cdot R_1$$

$$Cm_f = 1.200\ \text{N} \cdot 0{,}151\ \text{m} = 181{,}2\ \text{N} \cdot \text{m}$$

Con esto se demuestra que en un sistema de freno de disco cuanto mayor sea el diámetro del disco de freno, mayor será el par de frenado.

Identificación de los elementos que constituyen el freno de servicio

HERRAMIENTAS
- Elevador
- Llave de ruedas

MATERIAL
- Un automóvil

OBJETIVOS

Localizar e identificar los elementos constructivos del freno de servicio de un automóvil.

PRECAUCIONES

- Colocar el vehículo correctamente en el elevador.
- Evitar atrapamientos con las puertas, capó, etc.
- No desmontar ningún elemento.

DESARROLLO

Para identificar los elementos que constituyen el freno de servicio de un automóvil seguimos el circuito hidráulico. El primer elemento que nos encontramos es el pedal de accionamiento del freno que se encuentra situado en el interior del vehículo en la zona de los pedales entre el pedal del acelerador y el del embrague (véase la figura 7.24).

Abriendo el vano del motor encontramos el servofreno y unido a este la bomba de freno con su depósito (véase la figura 7.25). También podemos ver las canalizaciones que se dirigen al resto de elementos (véase la figura 7.26).

↑ **Figura 7.24.** Pedal de freno (centro).

↑ **Figura 7.25.** Servofreno.

↑ **Figura 7.26.** Bomba de freno con depósito de líquido.

En la parte trasera bajo el vehículo podemos identificar el corrector de frenado para el eje trasero (véase la figura 7.28).

En la zona de los pases de rueda se encuentran canalizaciones flexibles que se unen con la pinza de freno. También se pueden identificar las pastillas y el disco de freno (véase la figura 7.29).

↑ **Figura 7.27.** Canalización en el pase de rueda.

↑ **Figura 7.28.** Corrector de frenado para el eje trasero.

↑ **Figura 7.29.** Pinza de freno con pastillas.

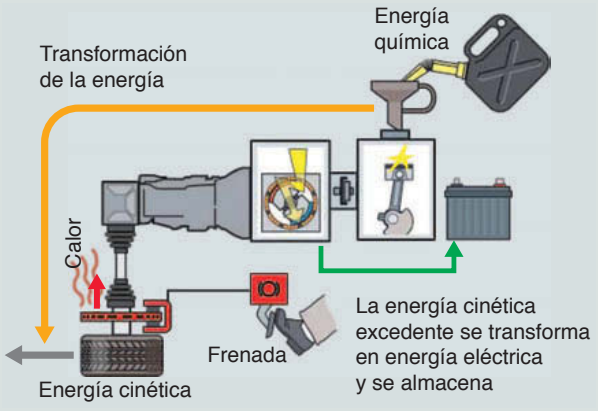
MUNDO **TÉCNICO**

Frenado regenerativo. Permite recuperar la energía de la batería utilizando el motor eléctrico como generador

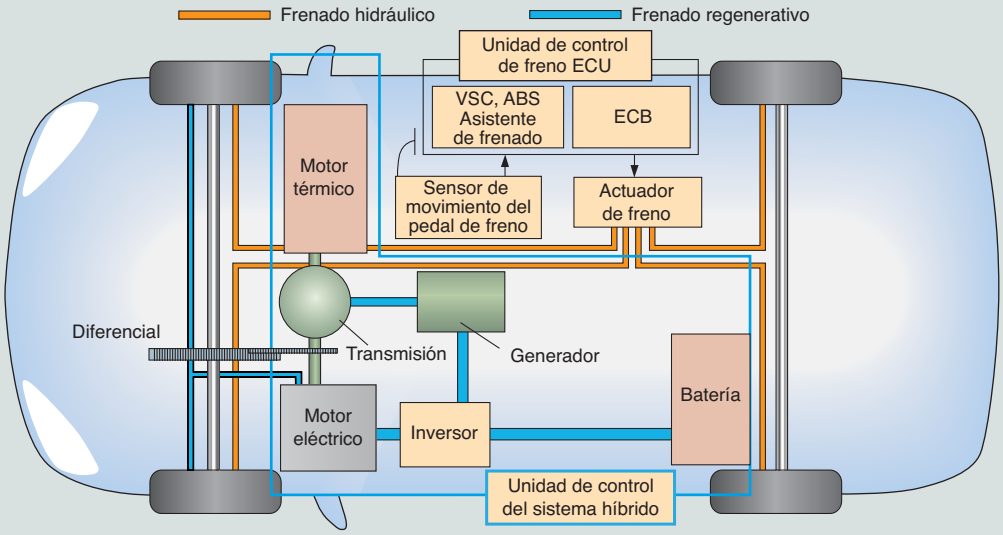
Una de las grandes novedades que ha aportado el vehículo híbrido consiste en la posibilidad de recuperar parte de la energía gracias al freno regenerativo. Este sistema de frenado es capaz de recuperar durante la frenada parte de la energía cinética que posee el vehículo por el mero hecho de desplazarse a una determinada velocidad. En un sistema de frenado convencional la energía cinética se transforma (se disipa) en calor o energía calorífica resultado de la fricción entre pastillas o zapatas, por un lado, y discos o tambores, por otro.

Así, en las fases de deceleración y frenado, el motor eléctrico actúa como un generador de electricidad y aprovecha la energía cinética del vehículo para obtener electricidad que se almacena en las baterías. Esto permite recuperar una cierta cantidad de energía que se perdería en forma de calor en el caso del sistema de frenado convencional. El sistema de frenado regenerativo actúa siempre que se usen los frenos y también siempre que el vehículo deje de acelerar, por lo que este sistema ofrece su mayor eficiencia en aquellas situaciones en las que existen continuas aceleraciones y deceleraciones, como es el caso de la conducción en ciudad. En conducción en autopista el sistema de frenado regenerativo sigue funcionado esporádicamente, por ejemplo en bajadas prolongadas o al reducirse la velocidad después de una maniobra de adelantamiento.

En general, se estima que es posible recuperar hasta el 30% de la energía cinética, lo cual se traduce en un ahorro medio de cerca de un litro de gasolina por cada 100 km recorridos en ámbito urbano en donde se producen frecuentes frenadas. Además, el frenado regenerativo permite reducir en un 22% el peso del sistema de frenado convencional, alargándose también su vida útil.



↑ **Figura 7.30.**



↑ **Figura 7.31.** Esquema de funcionamiento en un vehículo híbrido.

EN **RESUMEN**

LOS FRENOS EN LOS VEHÍCULOS

EQUIPOS DE FRENOS

Conjunto de instalaciones que dispone el vehículo para frenar y estacionar

- **Freno de servicio** → Circuito principal de frenado del vehículo
- **Freno auxiliar** → Circuito que debe complementar y suplir al freno de servicio
- **Freno de estacionamiento** → Dispositivo que debe inmovilizar y frenar el vehículo

DINÁMICA DEL FRENADO

- **Fuerza de frenado** → $F = m \cdot \text{deceleración}$
- **Deceleración** → $d = \dfrac{\text{decremento de velocidad}}{\text{tiempo de parada}}$
- **Distancia de parada** → $e = \dfrac{v^2}{E \cdot 254}$
- **Eficacia del frenado** → $E\,\% = \dfrac{\text{deceleración}}{\text{gravedad}} \cdot 100$
- **Fuerza de frenado en el eje en función del peso que soporta** → Correctores de frenado que regulan la presión en el eje trasero en función de la carga que soporta

SISTEMAS DE MANDO Y ACCIONAMIENTO DE FRENOS

- **Mando mecánico** → Freno de estacionamiento y en algunos vehículos freno de servicio
- **Accionamiento hidráulico** → Freno de servicio
- **Accionamiento con fuerza auxiliar** → Hidráulicos; Neumáticos

entra en internet

1. Investiga la normativa existente para los sistemas de freno de los vehículos.

8 Elementos y piezas del sistema de freno

vamos a conocer...

1. Freno de tambor
2. Freno de disco
3. Bomba de freno
4. Pedal de freno
5. Servofreno
6. Correctores de frenada del eje trasero
7. Canalizaciones
8. Líquido de frenos
9. Luz de freno y testigos luminosos

PRÁCTICA **PROFESIONAL**

- Identificación de los componentes del freno de servicio
- Comprobación del testigo de nivel de líquido de frenos
- Desmontaje de una bomba de freno
- Sustitución de un latiguillo de freno

MUNDO **TÉCNICO**

- Frenos cerámicos

y al finalizar esta unidad...

- Conocerás las características de los sistemas de freno del vehículo según su constitución.
- Estudiarás los elementos que componen los sistemas de freno: bomba, pedal de freno, servofrenos, etc.
- Relaciona el funcionamiento de los elementos que constituyen los circuitos de freno con los sistemas de accionamiento de los mismos.
- Identificarás los elementos y piezas del circuito de freno sobre el vehículo.
- Identificarás las características de los fluidos utilizados en los sistemas de freno.

CASO **PRÁCTICO** INICIAL

situación de partida

En el taller de Ramón van a fabricar un Buggy para realizar excursiones al campo. El diseño del vehículo todavía no está definido pero sí se tienen algunas ideas de lo que debe ser el vehículo final.

El chasis debe ser tubular con el tamaño suficiente para albergar todos los elementos mecánicos y un conductor.

En cuanto al motor, lo más aconsejable es que sea de moto con una cilindrada aproximada a los 600 cm^3. Como este tipo de motores llevan el cambio integrado, se utilizará este y solo se le deberá acoplar un sistema de palancas para su accionamiento.

La transmisión será como las de las motocicletas con piñón, cadena y corona estudiados previamente para el correcto funcionamiento del vehículo.

La suspensión será independiente con amortiguadores de gas y muelles.

En cuanto al sistema de freno se están barajando dos posibilidades:

- Una de ellas es montar solo en el eje trasero un sistema de freno de disco mediante un circuito hidráulico.
- La otra, es montar un sistema de freno de disco para las cuatro ruedas. Este sistema integraría un circuito hidráulico con repartidor manual de frenada para los ejes delantero y trasero.

↑ **Buggy de referencia para la fabricación.**

estudio del caso

Antes de empezar a leer esta unidad de trabajo, puedes contestar las dos primeras preguntas. Después, analiza cada punto del tema, con el objetivo de contestar al resto de las preguntas de este caso práctico.

1. ¿Crees que es aconsejable montar un sistema de freno de tambor en el Buggy?
2. ¿Puede provocar algún tipo de comportamiento inadecuado el montar en el vehículo solo frenos en las ruedas traseras?
3. ¿Qué tipo de bomba se debe montar en el Buggy si va a disponer de freno en las cuatro ruedas?
4. ¿Es necesario montar un servofreno en el sistema de freno del Buggy?
5. ¿Qué es un repartidor manual de frenada?
6. ¿Qué tipo de canalizaciones se deben montar en el Buggy?

1. Freno de tambor

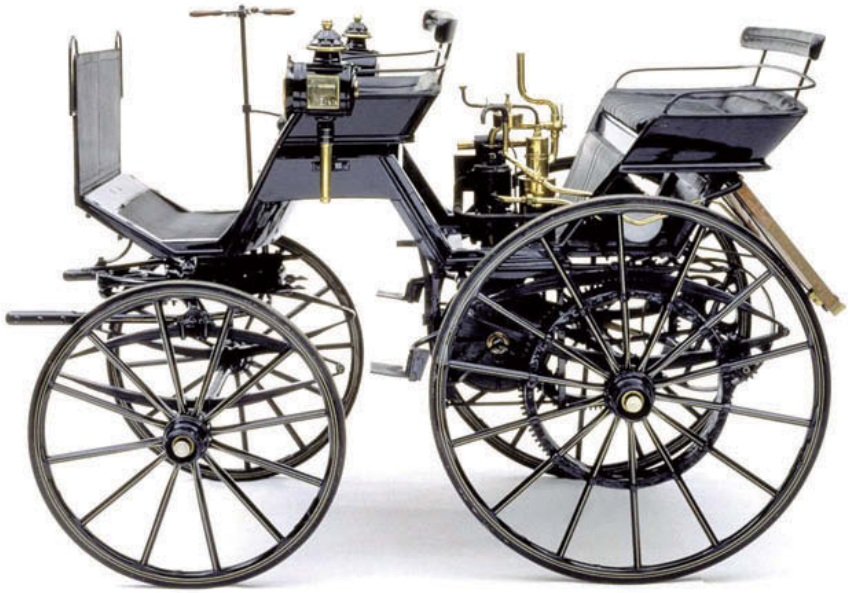
saber más

El circuito de frenos más sencillo montado en los vehículos actuales está constituido por:

- El pedal de accionamiento.
- La bomba de freno y el depósito de líquido.
- Las canalizaciones.
- Bombines o pinzas.
- Zapatas o pastillas de frenos.
- Tambores o discos.

El freno de tambor, que sustituyó al de zapatas exteriores, ha sido el sistema de freno más utilizado a lo largo del tiempo. Fue inventado por Wilhelm Maybach en el año 1899 y se ha convertido en el sistema de freno más antiguo utilizado en la actualidad. Hasta los años setenta, el freno de tambor no fue reemplazado parcialmente por el sistema de freno de disco.

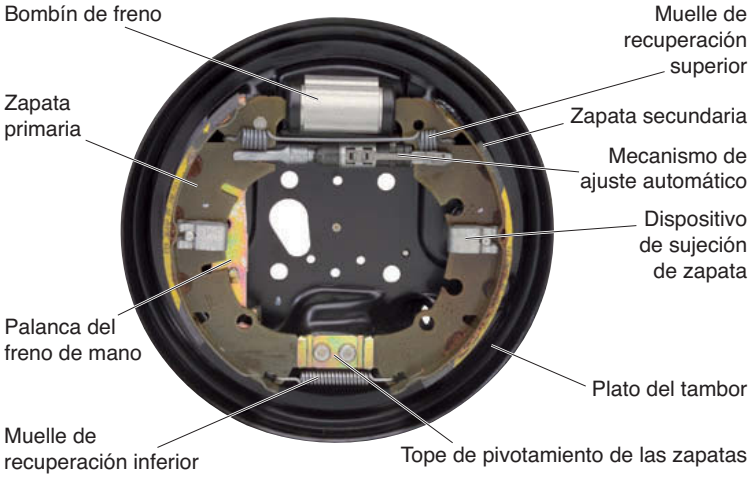
El freno de tambor se denomina también freno de zapatas interiores, ya que estas se encuentran en el interior del tambor de freno.

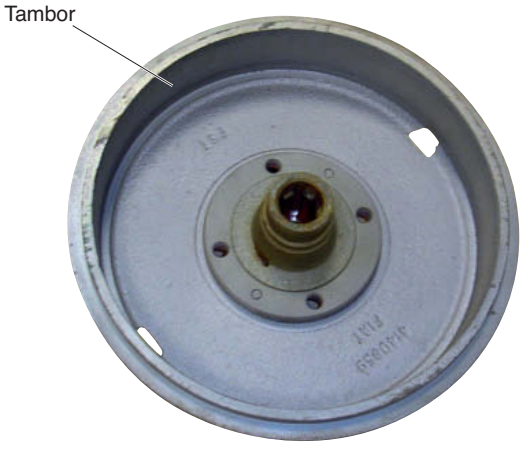


↑ **Figura 8.1.** Carruaje con freno de zapatas.

1.1. Constitución del freno de tambor

El freno de tambor se compone principalmente de un portafrenos o plato, el tambor de freno, dos zapatas de freno con forros, el dispositivo de tensado, bombín de freno, los resortes de retención, los resortes recuperadores y los dispositivos de ajuste.





↑ **Figura 8.2.** Despiece del freno de tambor.

Portafrenos

También llamado plato de freno, consiste en una chapa embutida y mecanizada sobre la que se montan los dispositivos de tensado (bombín de freno), las zapatas de freno y los elementos de fijación y regulación. Va sujeta al puente o a la mangueta por medio de tornillos.

El portafrenos se diseña de tal manera que permita impedir la entrada de suciedad al interior del conjunto.

↑ **Figura 8.3.** Plato portafrenos con zapatas y bombin.

Tambor de freno

Consiste en un cilindro torneado interiormente, fabricado en fundición gris aleada, capaz de absorber las altas temperaturas generadas por el rozamiento de las zapatas durante el frenado.

Uno de sus lados es hueco, lo que permite albergar interiormente los mecanismos de frenado. El otro lado está mecanizado en la zona central y lleva practicados unos taladros con rosca, o alberga unos espárragos para la sujeción de la rueda. En el centro dispone de un orificio que centra el tambor al buje de la rueda.

La superficie de contacto con las zapatas está perfectamente mecanizada para facilitar una buena fricción con las zapatas de freno (figura 8.4).

↑ **Figura 8.4.** Tambor de freno.

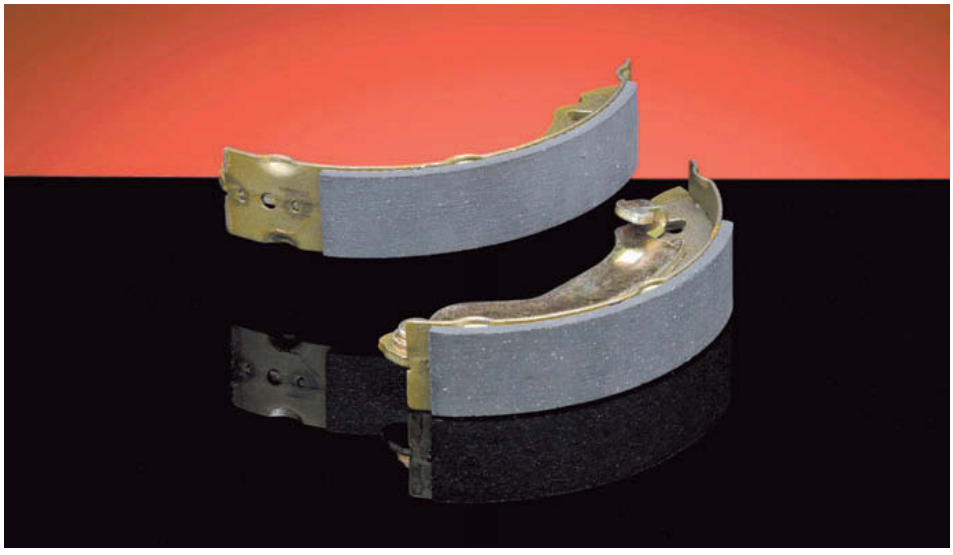
Zapata de freno

Las zapatas de freno están formadas por dos placas de acero: una en forma de media luna y la otra en forma circular paralela a la superficie de fricción del tambor, sobre la que va fijado el forro «ferodo», ya sea por medio de adhesivo o mediante remaches (método utilizado en los vehículos industriales, camiones, autobuses, etc, con el fin de economizar la pieza de recambio).

Las zapatas se unen, por un lado, al dispositivo de tensado, y por el otro, a un soporte fijo o a otro elemento de tensado, según la configuración del sistema. Uno o dos muelles entre las dos zapatas facilitan el retroceso de las mismas a su posición de reposo.

La unión al portafrenos se realiza con un sistema elástico formado por un muelle y un pasador, lo que permite el desplazamiento de la zapata en su funcionamiento.

↑ **Figura 8.5.** Zapata de freno con forro remachado e intercambiable.



↑ **Figura 8.6.** Zapatas de freno con forro pegado.

saber más

El ferodo de las zapatas de freno está compuesto generalmente por:

- Fibras: vidrio, aramida, etc.
- Cargas minerales: barita, magnesita, talco, mica, carbonato, etc.
- Componentes metálicos: latón, cobre, bronce, etc.
- Lubricantes o modificadores de coeficiente en forma de polvo: grafito, coke, antracita, etc.
- Materiales orgánicos: cauchos, ceras, etc.
- Abrasivos.

Dispositivos de tensado de las zapatas

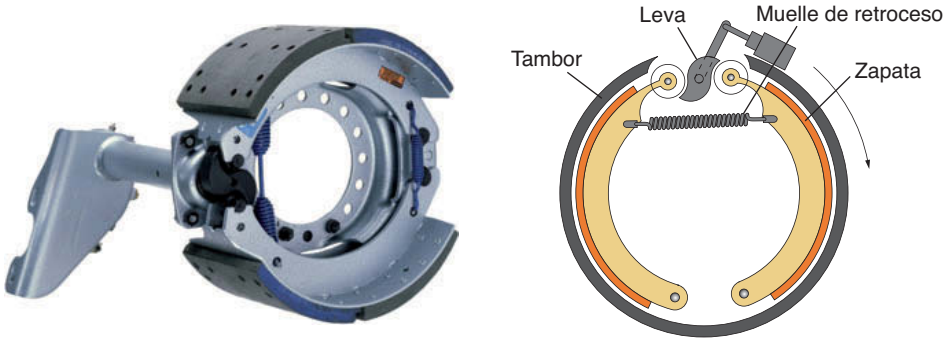
Los dispositivos de tensado o actuadores de freno son los encargados de efectuar el desplazamiento de las zapatas en la operación de frenado. Los más empleados son: la leva en forma de «S» o de «Z», la cuña en expansión y el bombín de freno.

Leva en forma de «S» o de «Z»

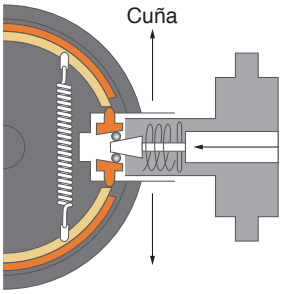
Consiste en un dispositivo mecánico formado por una leva en forma de «S» o de «Z», que se acciona mediante la palanca de freno.

Por un lado, las zapatas están apoyadas sobre dos rodillos cilíndricos que permiten el pivotamiento de las mismas. Por otro, el dispositivo de leva en «S» o en «Z», a través del giro sobre su eje, realiza la apertura de las zapatas, con lo que se genera la fuerza de frenado sobre la superficie interna del tambor.

Cuando cesa la fuerza de giro del accionamiento sobre la leva, un muelle hace retornar las zapatas a su posición de reposo y, en consecuencia, el tambor se libera de la acción del freno.



↑ **Figura 8.7.** Dispositivo de tensado por leva en «S».



↑ **Figura 8.8.** Freno de tambor accionado por cuña.

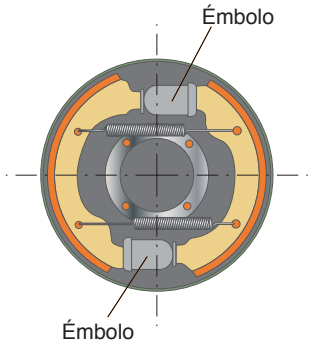
Cuña en expansión

Este dispositivo, al igual que en el sistema por leva, utiliza como punto de apoyo para las zapatas dos rodillos cilíndricos que permiten su pivotamiento.

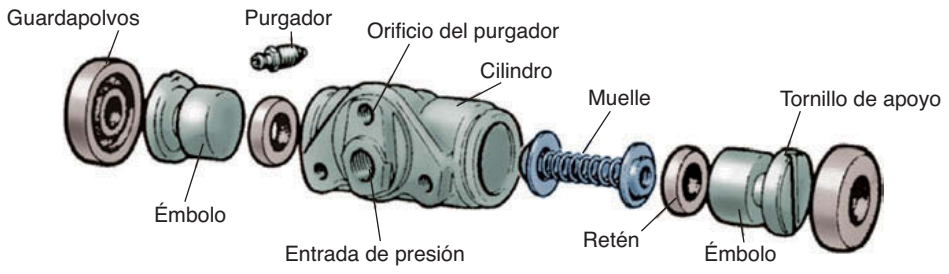
Para realizar la apertura de las zapatas, este sistema utiliza una varilla en forma de cuña que, introducida desde la parte posterior del plato, desplaza progresivamente las zapatas. El máximo desplazamiento de las zapatas se realiza cuando se introduce la cuña en su parte final.

Bombín de freno

Los bombines de freno transforman la presión hidráulica del circuito, por el desplazamiento de su émbolo o émbolos, y realizan la fuerza de empuje para el accionamiento de las zapatas contra el tambor. Este elemento consta básicamente de un cilindro, uno o dos émbolos, retenes, guardapolvos, muelle de retorno y un purgador.



↑ **Figura 8.9.** Freno dúplex con bombines de un émbolo.



↑ **Figura 8.10.** Despiece del bombín de doble émbolo.

- **El cilindro** constituye la carcasa del bombín. En él van alojados todos los elementos del dispositivo. Dispone de dos orificios de sujeción para su unión con el plato y dos orificios roscados, uno para el latiguillo de freno y otro para el tornillo de purga del sistema de freno.
- **El émbolo** se encarga de transmitir el movimiento longitudinal a las zapatas. Dispone de un junta tórica que evita que el líquido salga al exterior.
- **El muelle de retorno** garantiza el retroceso del embolo a su posición de reposo una vez que la presión de frenado ha remitido. Se monta en el embolo centrado sobre la junta tórica.
- **El guardapolvo** cierra el conjunto por la parte del émbolo con el fin de impedir que entren impurezas y humedad en el interior del cilindro.
- **El retén** es un anillo de goma que impide que se salga el líquido de frenos del interior del cuerpo del bombín hacia el exterior. Generalmente se monta sobre una entalladura que le sirve de alojamiento y sujeción para impedir que se desplace con respecto al émbolo.
- **El purgador** consiste en un tornillo acabado en forma de cono con un agujero central que nos permite abrir o cerrar el paso del líquido del bombín hacia el exterior. Esto permite purgar el aire que se encuentra en el interior del bombín.

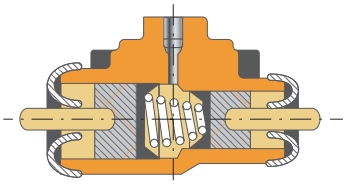
Los bombines hidráulicos pueden ser de un solo émbolo, de doble émbolo, de émbolos escalonados, y bombines con compensador integrado.

- **Bombín de un émbolo.** La constitución de los bombines de un solo émbolo es similar a los cilindros de simple efecto sin muelle de retroceso. El bombín dispone de un cilindro que es el cuerpo del bombín y que arma el conjunto, un émbolo o pistón, un retén de hermeticidad y su guardapolvos y la canalización de entrada del líquido y purgador.

  Se emplea en los sistemas de freno tipo twimplex y dúplex, en los cuales las dos zapatas son primarias.

↑ **Figura 8.11.** Bombín de doble émbolo.

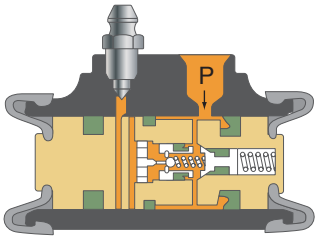
- **Bombín de doble émbolo, gemelos.** El bombín de dos émbolos gemelos es el más empleado en los automóviles en los frenos de tambor y de zapatas. Su constitución es similar a la del bombín de un solo émbolo, pero en este caso dispone de dos émbolos con sus retenes y guardapolvos. El bombín de dos émbolos realiza el doble de fuerza que el de un solo émbolo, pero con la mitad de recorrido útil.
- **Bombín de émbolos escalonados.** Las distintas áreas de las superficies de los émbolos permiten que cada émbolo realice una fuerza de trabajo distinta en cada zapata. La constitución del bombín es similar a la del bombín de doble émbolo.



↑ **Figura 8.12.** Bombín de émbolos escalonados.

- **Bombín con dispositivo compensador integrado.** Estos dispositivos se montan en bombines de freno del eje trasero y exteriormente son similares a los de doble émbolo (véase figura 8.13). El dispositivo compensador se monta entre los émbolos del bombín actuando como un compensador o corrector de frenado, limitando las presiones del circuito hidráulico y, en consecuencia, la fuerza que el bombín puede realizar.

  Cuando se pisa el pedal de freno la presión hidráulica entra por el orificio del latiguillo de freno, pero, hasta que no vence el tarado del muelle, no comienza a desplazar a los émbolos. Con esto se consigue una reducción de la presión en el interior del cilindro, que se transforma en un desplazamiento de las zapatas menor y una frenada más débil.

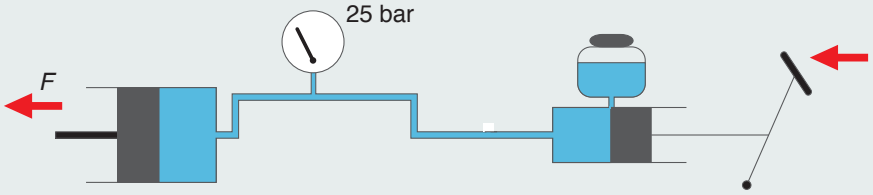


↑ **Figura 8.13.** Bombín con dispositivo compensador integrado.

EJEMPLOS

■ Calcula la fuerza que realiza un bombín de un solo émbolo de un diámetro de 2,5 cm. La presión del circuito hidráulico es de 25 bar.

Solución:



←**Figura 8.14.**

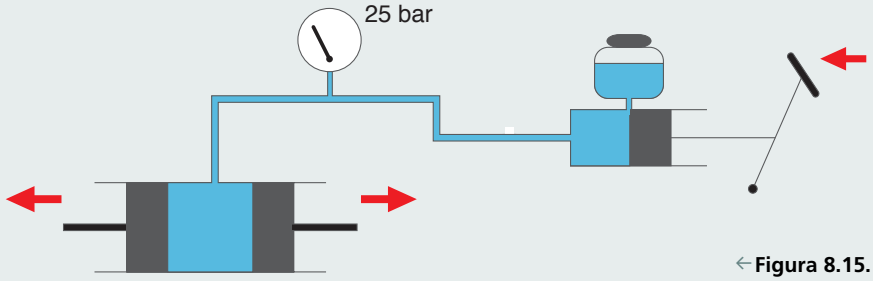
$$p = \frac{F}{S};\ F = p \cdot S$$

$$S = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{3{,}14 \cdot (2{,}5\ \text{cm})^2}{4} = 3{,}92\ \text{cm}^2$$

$$1\ \text{bar} = 10\ \text{N/cm}^2;\ 25\ \text{bar} = 250\ \text{N/cm}^2$$

$$F = 25\ \text{bar} \cdot 3{,}92\ \text{cm}^2 = 250\ \text{N/cm}^2 \cdot 3{,}9\ \text{cm}^2 = 975\ \text{N}$$

■ Calcula la fuerza que realizaría un bombín con dos émbolos de 2,5 cm de diámetro sometido a una presión de 25 bar.



←**Figura 8.15.**

Solución:

Los cálculos del bombín de simple efecto del ejercicio anterior son válidos para este. Cada émbolo realizará 975 N.

Por lo tanto, el bombín realizará una fuerza de:

$$975\ \text{N} \cdot 2 = 1.950\ \text{N}$$

Los émbolos de este bombín recorrerán la mitad de recorrido que en el bombín de simple efecto, con la misma carrera de la bomba de freno.

↑ **Figura 8.16.** Resortes de retención y recuperadores.

Resortes de retención y recuperadores

Los resortes de retención y los recuperadores se encargan de situar las zapatas en su posición inicial. El bombín ejerce una fuerza en el sentido de apriete de la zapata contra el tambor mientras que el retroceso de esta se ejecuta por la fuerza recuperadora de los muelles.

Dispositivos de ajuste

Los frenos de tambor y zapatas, para un frenado eficaz, necesitan de un ajuste inicial de todo el conjunto. Con este ajuste se consigue que las zapatas, una vez montadas, no rocen sobre el tambor, y que las dos ruedas del mismo eje frenen equilibradamente.

Con el uso de los frenos, los forros y el tambor se desgastan. El dispositivo de ajuste permite ajustar el conjunto para que el pedal de freno no se hunda en exceso y los frenos actúen en un corto periodo de tiempo.

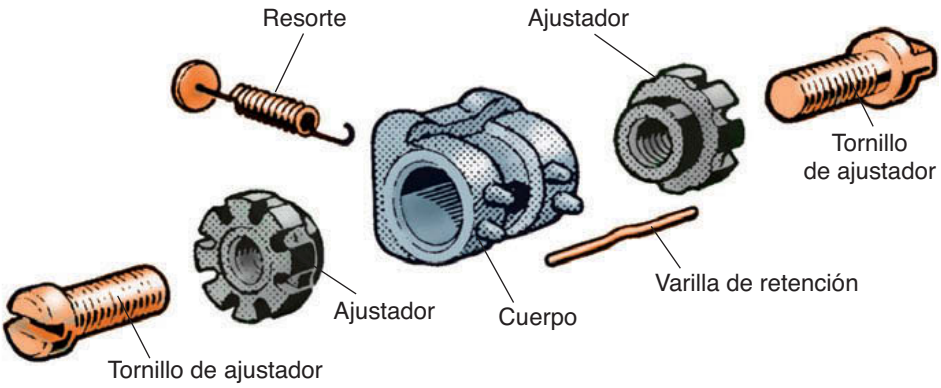
Los dispositivos de reajuste se agrupan en dos sistemas: los manuales y los de ajuste automático.

Dispositivos de ajuste manual

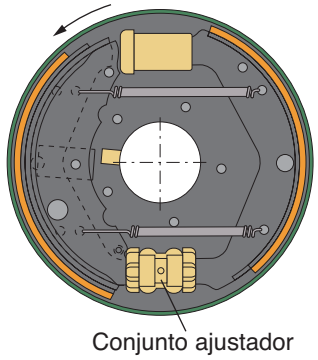
En los sistemas manuales, el ajuste lo debe realizar un técnico actuando directamente sobre un mecanismo que aproxime las zapatas al tambor. Los sistemas más empleados son el Girling y el Bendix.

Sistema Girling

En este tipo de freno de tambor, el reglaje se realiza sobre el bombín de freno mediante un sistema de ajuste por medio de rosca o mediante un conjunto de ajuste en el apoyo de las zapatas.



↑ **Figura 8.18.** Despiece del sistema Girling.

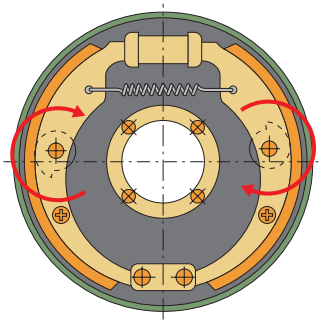


↑ **Figura 8.17.** Sistema Girling.

Sistema Bendix

Los frenos de tambor del tipo Bendix permiten aproximar las zapatas al tambor mediante un sistema mecánico de regulación. Este sistema consiste en una leva por zapata que la aproxima o la aleja contra el tambor (véase figura 8.19).

El ajuste se realiza desde el exterior, por la parte trasera del portafrenos, girando la leva. El desplazamiento máximo de ajuste corresponderá con el alzado de la leva. Si tras un giro completo de la leva, el freno no se queda bloqueado, esto indica que el desgaste de las zapatas es excesivo y deben sustituirse.



↑ **Figura 8.19.** Sistema Bendix con levas.

Dispositivos de ajuste automático

Los automóviles modernos que montan frenos de zapatas en el eje trasero disponen de dispositivos de reglaje automáticos. Los sistemas más empleados son:

- Ajuste con trinquete (véase figura 8.20).
- Ajuste con arandelas de fricción.

↑ **Figura 8.20.** Dispositivo de ajuste mediante trinquete.

1.2. Funcionamiento del freno de tambor

saber más

Los tambores de freno que van montados sobre rodamientos de rodillos cónicos se deben ajustar con una «precarga» de montaje que impida que, cuando la temperatura aumente por la fricción, se queden bloqueados.

El portafrenos va fijado en el puente o en la mangueta y soporta las zapatas y el dispositivo de tensado para el desplazamiento de las mismas. El tambor de freno, se monta sobre el buje de la rueda y gira con la rueda.

Cuando se activa el dispositivo de tensado, bombín de freno, se aprietan fuertemente las zapatas contra el tambor de freno. A través de la fricción entre ambas superficies se frena el tambor y a su vez la rueda.

La zapata de freno que se desplaza en el sentido del giro del tambor se denomina zapata primaria. En cambio, la zapata que se desplaza en sentido contrario se denomina zapata secundaria, véase figura 8.21.

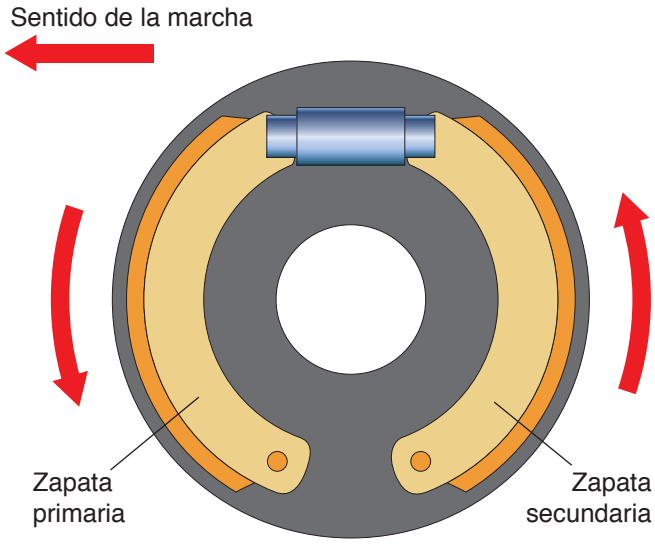
La zapata primaria se autorrefuerza gracias al par de giro que se produce al frenar. Esto permite que, debido a la fricción, la zapata primaria se clave en el tambor de freno (coeficiente K).

En la zapata secundaria ocurre lo contrario, la fuerza de fricción disminuye la fuerza de apriete. Esto contribuye a que la distribución del efecto de frenado en ambas zapatas de freno sea diferente, lo que produce un desgaste desigual en los forros. La zapata secundaria siempre retrocede.

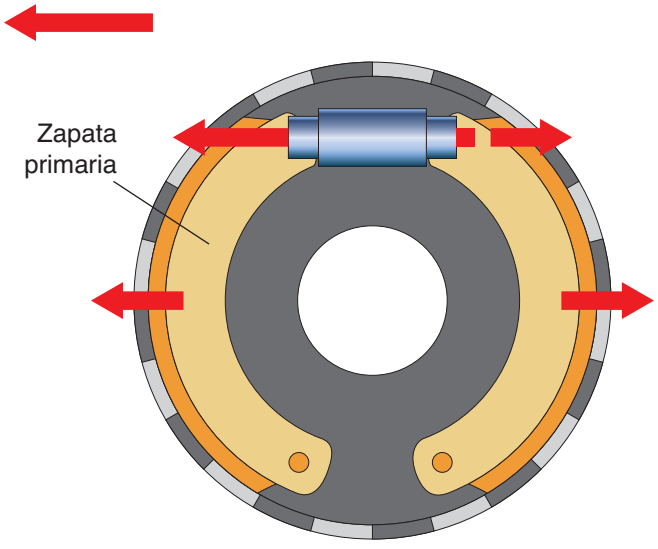
Debido al alto autorreforzamiento de los frenos de tambor, estos necesitan menos fuerza de accionamiento que en los sistemas de freno de disco.

Por lo tanto, los sistemas de freno de tambor se caracterizan por:

- El autorreforzamiento de las zapatas de freno primarias.
- La disminución de la fuerza de accionamiento con respecto al sistema de freno de disco.
- La capacidad de ser sensible a oscilaciones del coeficiente de rozamiento y temperatura.
- Una mala autolimpieza y escasa protección contra la suciedad.



↑ **Figura 8.21.** Configuración de las zapatas de freno.



↑ **Figura 8.22.** Freno accionado de la zapata primaria (autorreforzamiento en el sentido de la marcha).

1.3. Tipo de montaje del freno de tambor

Según su estructura de accionamiento, los sistemas de freno de tambor pueden ser: símplex, dúplex, dúo-dúplex, servofreno, dúo-servo.

Freno símplex

En el montaje símplex, ambas zapatas se aprietan en un extremo contra el tambor de freno mediante un dispositivo de tensado común. El otro extremo está montado sobre un punto de apoyo fijo.

El dispositivo de tensado puede ser un cilindro de doble efecto, para turismos, y una cuña de expansión o una leva en «S» para vehículos industriales. El retroceso de las zapatas se efectúa gracias a resortes recuperadores.

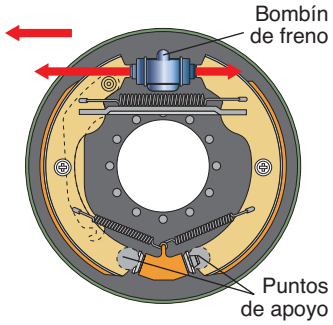
El freno símplex está equipado con una zapata primaria y una secundaria. Durante el frenado, la zapata primaria se apoya sobre el tambor en contra del giro de este, realizando presión contra la superficie del tambor (autorreforzamiento).

La secundaria se apoya a favor del sentido de giro de la rueda, siendo rechazada por el giro del tambor, lo que provoca que el efecto de frenado sea el mismo en marcha hacia delante y en marcha hacia atrás, siempre hay una zapata primaria y una secundaria.

La superficie de la zapata primaria soporta un 70% de la carga mientras que la secundaria el 30% restante. Por tanto, como el sentido de funcionamiento habitual es hacia delante, el desgaste de los forros es desigual.

Las características más significativas en esta configuración del tambor son:

- El autorreforzamiento de las zapatas es pequeño.
- Permite fácilmente integrar el mecanismo tensor del freno de estacionamiento.



↑ **Figura 8.23.** Freno de tambor símplex.

Freno dúplex

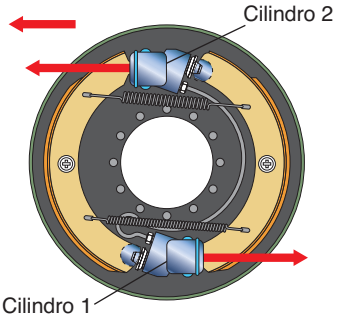
En este montaje, cada zapata tiene su propio dispositivo de tensado en forma de cilindro de freno de simple efecto. La parte trasera del dispositivo de tensado sirve de punto de apoyo para la zapata opuesta.

El circuito hidráulico entre ambos cilindros es común y produce la misma presión en estos. Puesto que las superficies de los émbolos tienen igual tamaño, también ejercen la misma fuerza de apriete.

Debido a que cada cilindro acciona una zapata en sentido hacia delante, ambas zapatas se convierten en zapatas primarias. De este modo se puede aprovechar el autorreforzamiento de ambas zapatas. Si se invierte el sentido de la marcha, ambas zapatas funcionan como zapatas secundarias con un menor efecto de frenado puesto que ya no se produce el autorreforzamiento de las zapatas.

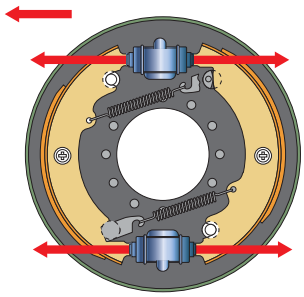
Así pues, las características más importantes del freno dúplex son:

- En comparación con el freno simplex, el freno dúplex tiene un mejor efecto de frenado hacia delante puesto que utiliza el autorreforzamiento en las dos zapatas.
- En marcha atrás disminuye el efecto de frenado, ya que las zapatas se convierten en secundarias.
- El montaje del freno de estacionamiento es complicado.



↑ **Figura 8.24.** Freno de tambor dúplex.

Freno dúo dúplex



↑ **Figura 8.25.** Freno de tambor dúo dúplex.

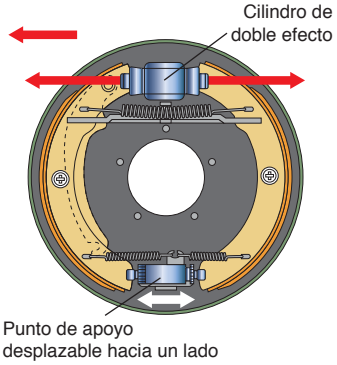
Es un montaje muy poco utilizado. Consiste en un freno de tambor con dos cilindros de freno de doble efecto como elementos de tensado.

Hacia delante el freno dúo dúplex funciona como el freno dúplex, ambas zapatas son primarias y se autorrefuerzan. También en marcha atrás las zapatas son primarias; el efecto de frenado es el mismo en ambos sentidos.

Sus características principales son:

- Mismo efecto de frenado hacia delante y hacia atrás.
- Complicado montaje del freno de estacionamiento.

Servofreno



↑ **Figura 8.26.** Freno de tambor servofreno.

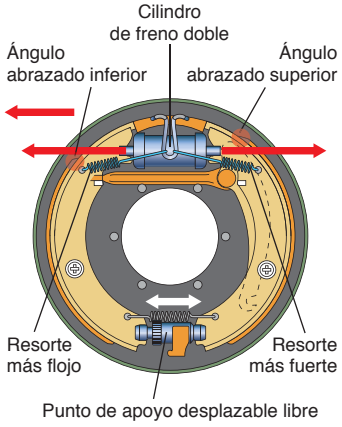
Es un montaje muy parecido al freno símplex. Consiste en un cilindro de freno doble que sirve como dispositivo de tensado para ambas zapatas.

En este sistema, las zapatas ya no tienen puntos de apoyo fijos, sino que poseen un alojamiento desplazable. Mediante un tope, se garantiza que el desplazamiento solo se pueda producir hacia un sentido.

En su funcionamiento, la fuerza de apoyo y el autorreforzamiento de la zapata primaria se transmiten al punto de apoyo de alojamiento flotante de la segunda zapata que, de este modo, se convierte en la primera zapata. Por tanto, la segunda zapata se acciona mediante la fuerza transmitida de la primera zapata. Se apoya en el cilindro de freno mediante un émbolo con collar tope.

El servofreno se caracteriza por presentar un gran efecto de frenado gracias al autorreforzamiento. En marcha atrás funciona como el freno símplex.

Freno dúo-servo



↑ **Figura 8.27.** Freno de tambor dúo-servo.

Como en el servofreno, en el freno dúo-servo un cilindro de doble efecto realiza la función de dispositivo de tensado.

En este sistema, el punto de apoyo tiene un alojamiento flotante y se puede desplazar en ambos sentidos. El forro que muestra en sentido hacia delante tiene un ángulo abrazado inferior, es decir, es más corto que el forro en sentido hacia atrás. El resorte recuperador en el lado del forro más corto es más débil que el resorte en el otro lado.

Gracias a la tensión previa, se consigue que el freno se sitúe inmediatamente en la posición tope, sin producir golpes. En marcha hacia atrás se pueden producir pequeños ruidos.

En sentido hacia delante, el freno dúo-servo se comporta igual que un servofreno. Mediante la fuerza transmitida sobre el punto de apoyo, la segunda zapata también se convierte en zapata primaria.

En marcha atrás, el punto de apoyo permite la transmisión de fuerza a las zapatas lo que las convierte en zapatas en primarias.

Entre otras características, el freno dúo-servo tiene mayor efecto de frenado tanto hacia delante como hacia atrás. Posee un gran autorreforzamiento y en él se puede instalar fácilmente el freno de mano.

2. Freno de disco

El sistema de freno de disco es el más empleado en automóviles y motocicletas. Este freno es más ligero, sencillo y efectivo que el sistema de freno de tambor, y se está imponiendo como freno de rueda en la mayoría de vehículos.

El peso de un conjunto completo de freno de disco es inferior al sistema de freno de tambor, con lo que se alivia el peso no suspendido en las suspensiones y se mejora el comportamiento del vehículo en todas las condiciones de marcha, aceleración, frenada, etc.

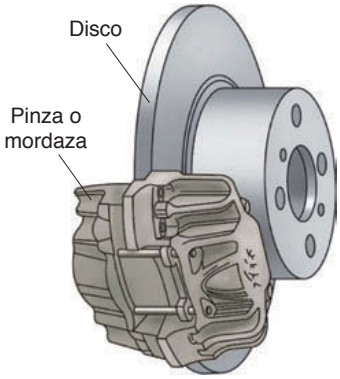
El freno de disco basa su funcionamiento y constitución en principios mecánicos e hidráulicos sencillos, la bomba transmite la presión en el circuito, y por medio de los émbolos de las pinzas, se transforma en fuerza de empuje sobre las pastillas. El disco gira solidario a la rueda y las pastillas lo presionan hasta detenerlo.

El accionamiento hidráulico de las pinzas se basa en el más elemental de los principios hidráulicos: el principio de Pascal.

La sencillez del funcionamiento no le impide ser muy eficaz y más rápido de respuesta que el sistema de freno con zapatas.

Además, este freno es capaz de evacuar mejor el calor y no sufrir el denominado efecto «fading», gracias a que el disco va al aire y a los diferentes sistemas de refrigeración del disco.

En cuanto a la reparación y mantenimiento del sistema de freno de disco, es relativamente sencillo, y se puede resumir en el cambio de líquido de frenos y en la sustitución de pastillas y discos por otros nuevos cuando se encuentren desgastados u ovalados.



↑ **Figura 8.28.** Freno de disco.

↑ **Figura 8.29.** Montaje de freno de disco.

2.1. Constitución del sistema de freno de disco

El sistema de freno de disco está formado básicamente por un disco y una pinza con sus émbolos y pastillas.

Disco de freno

El disco de freno se hace solidario al buje de la rueda por medio de los tornillos de rueda. Su asiento al buje debe realizarse lo más perfecto posible ya que de no ser así pueden crearse pequeñas oscilaciones durante el giro de la rueda.

En el disco de freno podemos distinguir dos partes: la banda o pista de fricción donde apoyan las pastillas de freno, y la campana o cubo donde se localiza el agujero de autocentrado al eje de la rueda y los orificios periféricos para la fijación correspondiente con los tornillos.

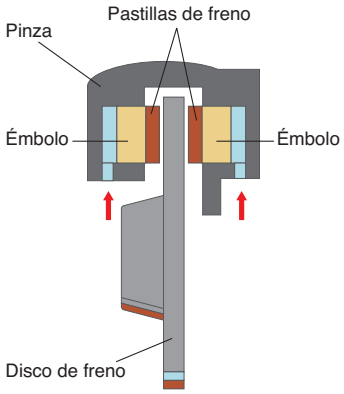
El disco de freno se fabrica generalmente con fundición gris perlítica y aleación de cromo aunque existen actualmente otro tipo de materiales de fabricación como el carbono.

Este elemento soporta temperaturas de cerca de 400 °C, para frenos de vehículos de calle y de aproximadamente 800 °C en discos de freno cerámicos de vehículos deportivos y de competición.

Los discos de freno pueden ser: macizos o ventilados.

- El **disco macizo** está formado por un anillo más o menos grueso con dos superficies de fricción opuestas. Como su propio nombre indica, es macizo y por ello es propenso a acumular calor, suciedad y a cristalizar las pastillas. Este tipo de disco es más delgado que el ventilado y disipa el calor generado por la fricción de una manera más lenta.
- Los **discos ventilados** tienen la ventaja de ser capaces de disipar el calor producido por la fricción con mayor rapidez.

  Los sistemas de ventilación de los discos pueden ser mediante unos canales de ventilación en la mitad del disco, que separan la cara de fricción interna de la externa, y que permiten que fluya el aire por el interior del disco o mediante la perforación en forma de agujeros o ranuras sobre la superficie de fricción.

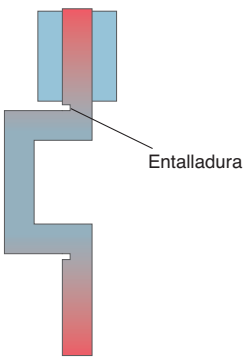


↑ **Figura 8.30.** Freno de disco de mordaza fija.

saber más

Por el efecto de la temperatura, los discos de freno tienen tendencia a deformarse de manera cóncava.

Para solucionar esto, los fabricantes de discos de freno realizan una entalladura entre el disco y la campana de rueda.



↑ **Figura 8.31.** Discos de freno.

↑ **Figura 8.32.** Disco de freno ventilado y ranurado.

Disco de freno cerámico

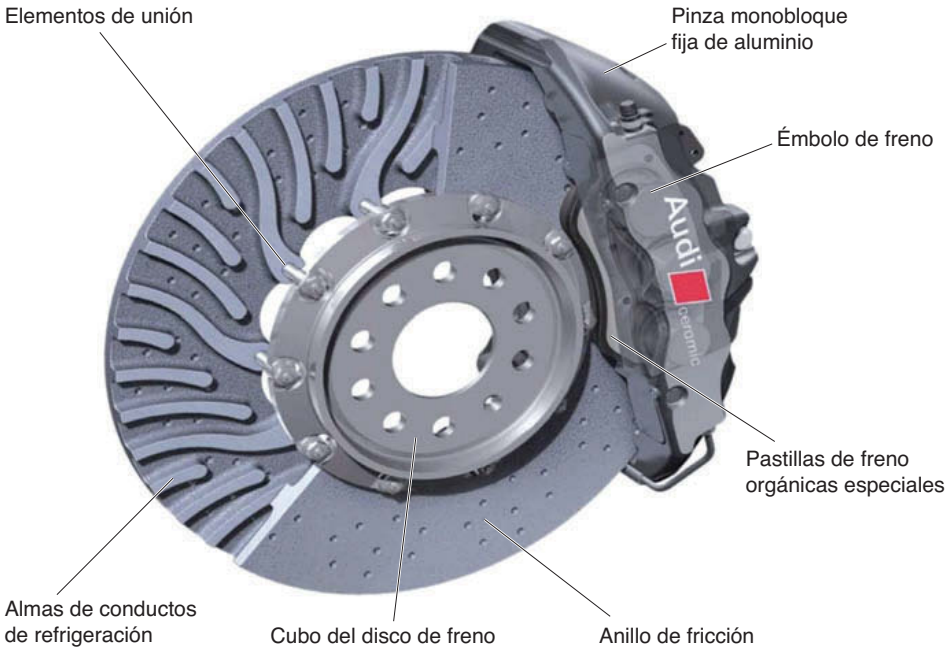
El disco de freno cerámico se fabrica con carburo de silicio reforzado con fibra de carbono. El carburo de silicio le proporciona una muy alta dureza, resistencia al desgaste por abrasión y una muy buena estabilidad química y térmica.

El diseño y la forma del disco de freno cerámico es similar al disco de fundición pero, en lugar de ser de una pieza, está formado por dos elementos: el cubo del disco y el anillo cerámico de fricción.

El anillo cerámico de fricción va unido fijamente al cubo del disco de freno por medio de elementos específicos de metal. Se diseña teniendo en cuenta la refrigeración del disco lo que condiciona el sentido de giro para su montaje.

El cubo y los elementos de unión se fabrican mediante aleación de metales resistentes a la corrosión.

↑ **Figura 8.33.** Disco de freno cerámico.



↑ **Figura 8.34.** Disco de freno cerámico seccionado.

Este tipo de disco, debido a su gran dureza, sufre menos desgaste que el disco convencional. Los principales defectos que sufren los discos cerámicos son grietas en la zona de anclaje, desprendimientos de los bordes y desprendimientos en las superficies de fricción.

Pinza de freno

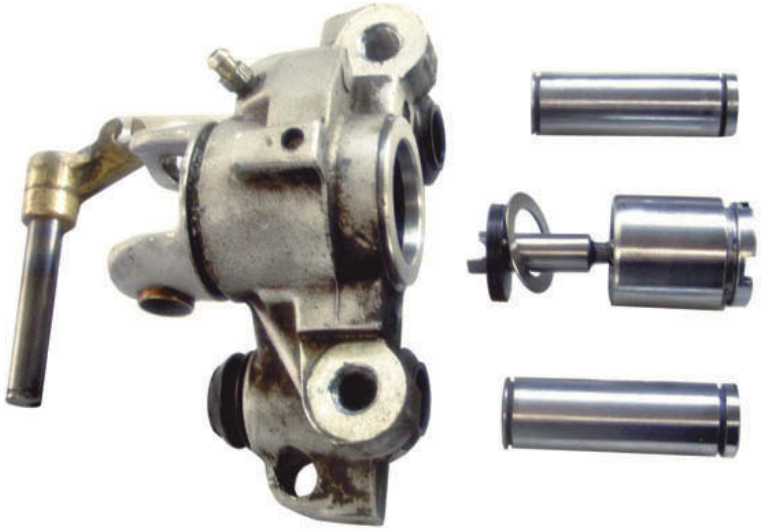
La pinza de freno también llamada mordaza o caliper consiste en el armazón que abraza el disco por su periferia. La pinza se encuentra unida a la mangueta o puente y constituye el elemento estático del sistema.

Esta tiene mecanizados los cilindros que alojan los pistones o émbolos que empujan las pastillas contra el disco. Los pistones disponen de unos sellos que evitan que se pueda perder la presión realizada por el líquido de frenos que llega a la pinza.

Las pinzas disponen de conductos o canalizaciones por donde circula el líquido de frenos, un purgador de aire del circuito, una rosca para el latiguillo de freno, retenes de hermeticidad de los émbolos y guardapolvos.

↑ **Figura 8.35.** Pinza de freno.

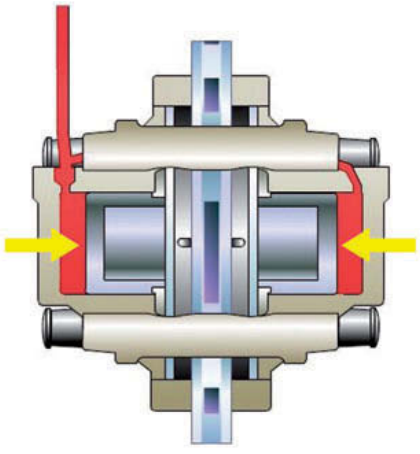
Las pinzas se fabrican empleando aleaciones ligeras de aluminio con el fin de aligerar su peso. Las más empleadas en vehículos convencionales son las de uno y dos cilindros, mientras que en modelos de alta gama y en competición se emplean pinzas de cuatro y seis émbolos.



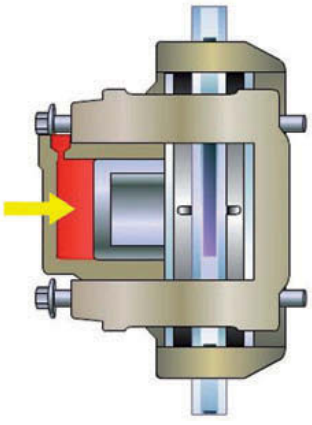
↑ **Figura 8.36.** Despiece de una pinza deslizante de un cilindro.

Existen principalmente tres clases de pinzas o mordazas de freno: la fija, la flotante y la deslizante.

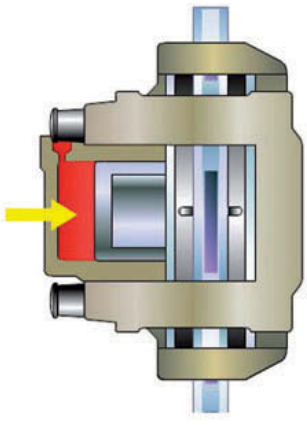
- La **pinza fija** no tiene movimiento en relación al disco de freno y son los pistones los que ejercen la presión sobre las pastillas para que rocen con los discos.
- La **pinza flotante** se desplaza al mismo compás que el disco de freno. Un pistón en uno de los lados hace que la pastilla se desplace y entre en contacto con el disco de freno, permitiendo que la pinza y la pastilla de freno interior se muevan.
- La **pinza deslizante** en cuanto a constitución y funcionamiento es muy similar a la flotante. La diferencia principal es que es más compacta que la pinza flotante y requiere muy poco espacio. En esta pinza se puede montar un pistón más largo o dos pistones más pequeños. Ello permite utilizar pastillas de mayor tamaño para aumentar la fuerza de frenado.



↑ **Figura 8.37.** Pinza fija.



↑ **Figura 8.38.** Pinza flotante.



↑ **Figura 8.39.** Pinza deslizante.

Pastilla de freno

La pastilla de freno constituye el elemento frenante del sistema de freno de disco. Debe disponer de unas cualidades muy específicas que le permitan soportar elevadas temperaturas y altas fricciones. Las características más importantes de las pastillas de freno son:

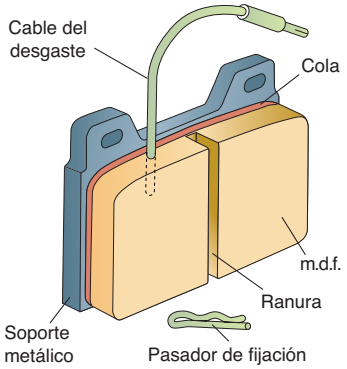
- Soportan altas temperaturas sin deformarse.
- Son resistentes a la abrasión.
- Mantienen el coeficiente de rozamiento incluso a elevadas temperaturas.
- Tienen buena conductividad térmica para evacuar el calor con rapidez.

El material de fricción de las pastillas de freno se conoce con el nombre de «ferodo». Este material se compone de mezclas de distintos compuestos que le confieren el grado de dureza. Dependiendo de este grado, las pastillas de freno se clasifican en blandas o duras. La identificación internacional se realiza con las letras «WVA» más un número.

Los materiales más utilizados para la fabricación de las pastillas son:

- Materiales de rozamiento, aproximadamente un 8%: fibras de carbono, aramida, metal, vidrio.
- Sustancias de relleno, aproximadamente un 35%: óxido de hierro, óxido de aluminio, espato pesado.
- Material deslizante, aproximadamente un 33%: polvo de coque y/o grafito.
- Sustancias aglutinantes, aproximadamente un 25%: resina sintética y caucho.
- Aditivos de metal, aproximadamente un 9%: acero, cobre, cinc, latón, aluminio.

Para saber el momento idóneo de sustitución, algunas pastillas disponen de un sensor o testigo que alerta mediante un dispositivo de iluminación en el cuadro al conductor.



↑ **Figura 8.40.** Constitución de la pastilla de freno.

↑ **Figura 8.41.** Juego de pastillas de freno.

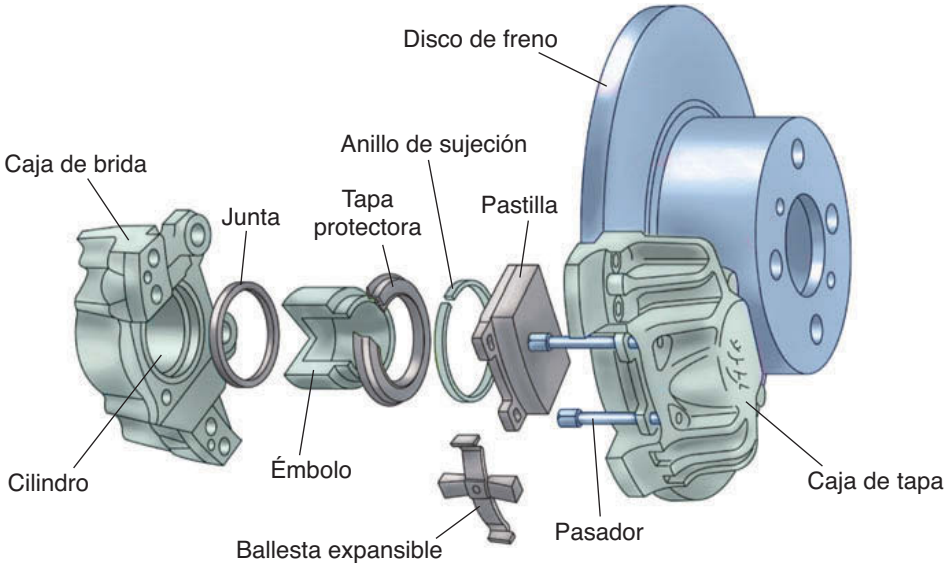
2.2. Tipos de montaje

Según la constitución y los principios de funcionamiento, los tipos de montaje más empleados en los sistemas de freno de disco son:

- Freno de disco con pinza fija.
- Freno de marco flotante.
- Freno de disco con pinza flotante.
- Freno de disco neumático con pinza flotante.
- Freno de mordaza oscilante.
- Freno de disco totalmente cubierto.

Freno de disco con pinza fija

La mordaza fija se halla en el cuerpo portante del eje. Dentro, se encuentran en cada lado del disco de freno, uno o más cilindros. Mediante unas ballestas expansibles, las pastillas se aprietan en la cavidad de la mordaza para que no se muevan.



↑ **Figura 8.42.** Freno de disco con pinza fija.

Funcionamiento

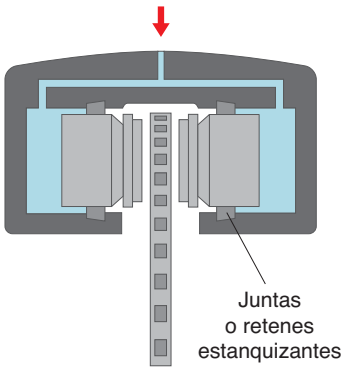
Al accionar el freno, la bomba genera la presión hidráulica que, debidamente canalizada, llega a los dos émbolos. Los émbolos de freno, interior y exterior, aprietan las pastillas de freno contra el disco. La fuerza de apriete es la misma en los dos émbolos, ya que sus superficies útiles son iguales.

El retroceso de los émbolos, al liberarse de la presión de la bomba, y de las pastillas, se consigue por las gomas o retenes estanqueizantes. Las pastillas de freno vuelven ayudadas por el tambaleo del disco de freno, de este modo, la carrera de separación se encuentra ajustada nuevamente a las pastillas que no rozan con el disco.

Las características principales del freno de disco de pinza fija son:

- La pinza está montada fijamente en el cuerpo portante del eje.
- En cada lado del disco de freno se encuentra un cilindro de freno. Gracias a ello el espacio de montaje es relativamente grande.

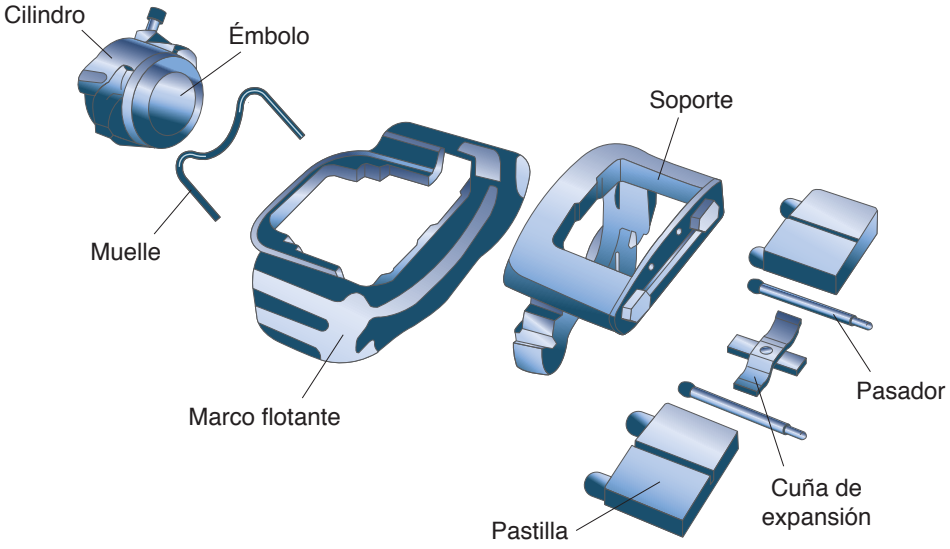
- Sin el debido mantenimiento se pueden formar burbujas de vapor en el conducto hidráulico que va del cilindro interior al cilindro exterior.
- La alta rigidez de los componentes permite el uso de discos de gran diámetro.
- Son idóneos para vehículos de altas prestaciones; por ello, se emplean en turismos pesados y en vehículos industriales en los ejes delanteros.
- En combinación con frenos de estacionamiento separados, también se utilizan en los ejes traseros de vehículos industriales.



↑ **Figura 8.43.** Estanqueidad de los émbolos de las pinzas.

Freno de marco flotante

El marco se halla en un alojamiento desplazable en un soporte fijo atornillado en la suspensión de las ruedas. En el marco hay un solo cilindro de freno, y su émbolo, en la cara interior de la rueda.



↑ **Figura 8.44.** Freno de disco de marco flotante.

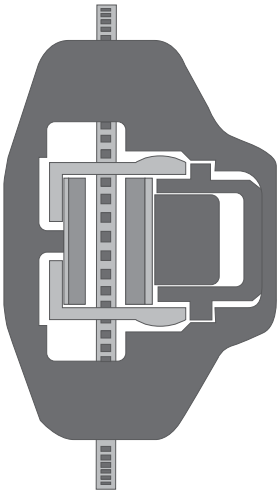
Funcionamiento

Al accionarse el émbolo, este aprieta la primera pastilla de freno contra el disco de freno. El disco ejerce una fuerza de reacción sobre el émbolo que, a su vez, la transmite al cilindro y al marco, es decir, el marco se aprieta hacia el interior y, así, la segunda pastilla de freno se desplaza hacia el disco de freno.

El retroceso de las pastillas se consigue con el retén estanqueizante del émbolo y el tambaleo del disco de freno. De este modo, la carrera de separación vuelve a estar ajustada, igual que en los sistemas de pinza fija.

Las características principales son:

- El empleo de un cilindro unilateral permite ganar espacio de montaje; con ello se consigue un radio de pivotamiento pequeño o incluso negativo.
- El calentamiento del líquido de frenos es menor, ya que los conductos no pasan cerca del disco de freno. Por consiguiente, se reduce la emisión de calor al líquido de frenos y el peligro de formarse burbujas de vapor. Este tipo de freno de disco se utiliza en vehículos pequeños con poco peso.

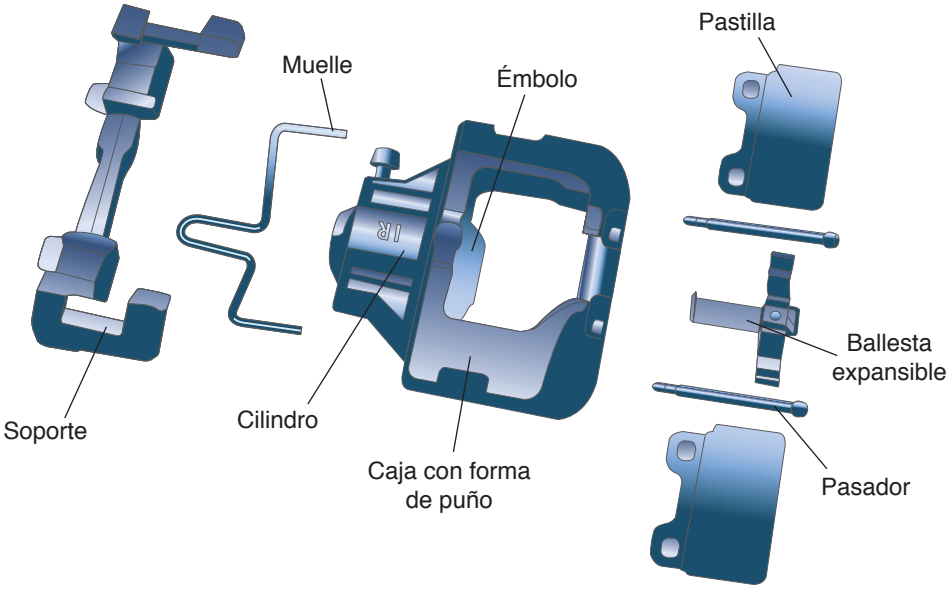


↑ **Figura 8.45.** Montaje del marco flotante.

Freno de disco con pinza flotante

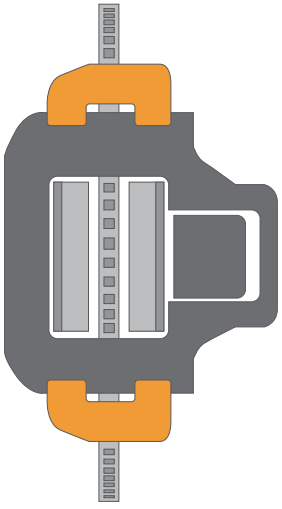
El freno de disco hidráulico con pinza flotante está formado por dos componentes principales, la caja y el soporte. La caja en forma de puño incorpora las pastillas de freno, las bridas de fleje y el cilindro con el émbolo de freno en un lado (véase figura 8.32).

El cilindro se encuentra en la caja. La forma de puño de la caja permite una mayor superficie del émbolo. De este modo, con la misma presión se puede ejercer una mayor fuerza en el disco.



↑ **Figura 8.46.** Freno de disco con pinza flotante.

Funcionamiento



↑ **Figura 8.47.** Montaje de la pinza flotante.

Al igual que en el freno de marco flotante, el émbolo aprieta la pastilla de freno interior contra el disco de freno. La fuerza de reacción del disco de freno mueve la caja hacia dentro y de esta forma la segunda pastilla de freno se desplaza hacia el disco de freno.

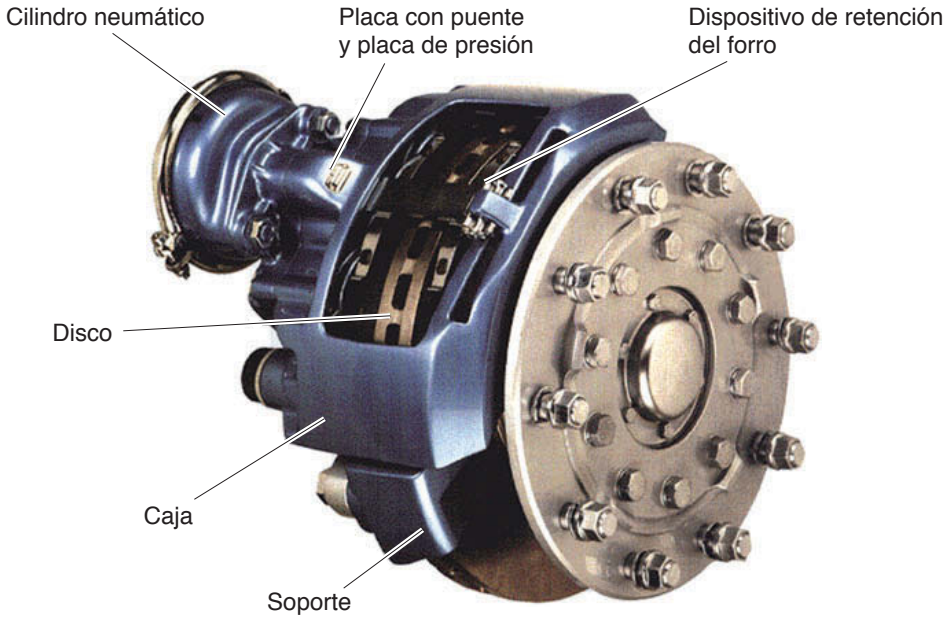
El ajuste de la carrera de separación se efectúa de la misma manera que en el sistema de freno con pinza fija. La tensión de las gomas estanqueizantes hace que retroceda el émbolo y por el tambaleo del disco de freno retroceden las pastillas de freno.

Las principales características de este tipo de freno son:

- La forma de puño de la caja permite una mayor superficie del émbolo. De este modo se ejerce más fuerza sobre el disco de freno.
- El reducido espacio de montaje en la rueda permite la realización de un radio de pivotamiento pequeño sin discos de rueda muy abombados.
- El peligro de formarse burbujas de vapor es pequeño puesto que no hay conductos de freno cerca del disco de freno calentado.
- Se emplean en vehículos industriales ligeros en el eje delantero, y en turismos, en el eje delantero y trasero.

Freno de disco neumático con pinza flotante

En este tipo de freno, los dos componentes principales son la caja y el soporte. El soporte está fijado en la suspensión de las ruedas. La caja se encuentra alojada en el soporte, sobre pernos de deslizamiento atornillados en el portafrenos. El freno se acciona mediante una palanca que actúa a través del puente y la placa de presión con rosca de reajuste sobre la pastilla de freno interior (véase figura 8.48).



↑ **Figura 8.48.** Freno de disco neumático con pinza flotante.

Funcionamiento

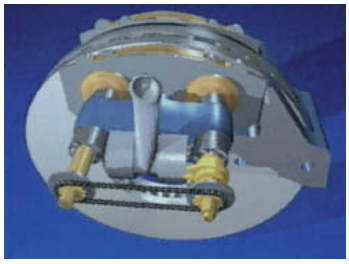
Al frenar, el vástago del émbolo del cilindro neumático aprieta el brazo largo de la palanca. El rodillo de alojamiento excéntrico forma el brazo corto de la palanca que desplaza el puente.

El puente distribuye la fuerza aplicada entre las placas de presión que aprietan la pastilla de freno interior contra el disco de freno (véase figura 8.49).

Al igual que todos los frenos con mordaza flotante, por la fuerza de reacción del disco de freno, la caja se desplaza hacia dentro apretando la segunda pastilla de freno contra el disco del freno.

↑ **Figura 8.49.**

Cuando se reduce la presión de frenado, los resortes de presión hacen que retrocedan los tubos roscados y la palanca. El ajuste de la carrera de separación (de 0,6 a 0,9 mm) se realiza de forma automática al girar el arrastrador (tubos roscados, véase figura 8.50). Si los forros están desgastados al accionar el freno, el arrastrador gira los tubos roscados más que en la apertura.

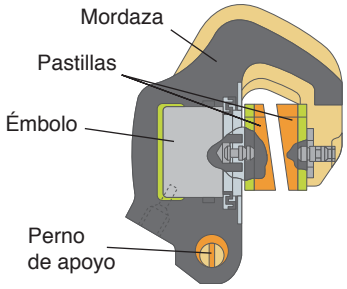


↑ **Figura 8.50.**

Las principales características de este sistema son:

- Solo puede ser montado sobre mordaza flotante en un lado del freno.
- La forma de puño de la mordaza permite alcanzar grandes fuerzas de apriete sobre las pastillas de freno.
- El reducido espacio de montaje permite un radio de pivotamiento pequeño.
- Se monta en ejes traseros y delanteros de vehículos industriales y autobuses.

Freno de mordaza oscilante



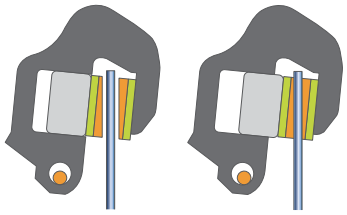
↑ **Figura 8.51.** Freno de mordaza oscilante.

El sistema de freno de disco de mordaza oscilante es utilizado generalmente por motocicletas ya que está formado principalmente por una mordaza ligera y de dimensiones muy compactas.

La mordaza está alojada alrededor de un perno de apoyo y se puede girar. En la mordaza se encuentra el cilindro de freno con su émbolo y los forros de freno de las pastillas de freno que tienen forma de cuña (véase figura 8.51).

Funcionamiento

Cuando la presión hidráulica incide sobre él embolo, éste empuja la pastilla contra el disco de freno. La mordaza oscila alrededor del perno de apoyo lo que hace que la segunda pastilla presione el disco.



↑ **Figura 8.52.** Movimiento oscilante de las mordazas.

Freno de disco totalmente cubierto

El freno de disco totalmente cubierto se compone de una caja de freno rotatorio fijada en el cubo de la rueda. Su pared interior sirve al mismo tiempo como disco de freno. La caja contiene dos forros de freno anulares, entre los discos de freno que se encuentran conectados con la caja fija de cojinetes de rueda. El dispositivo de apriete hidráulico se halla entre los forros.

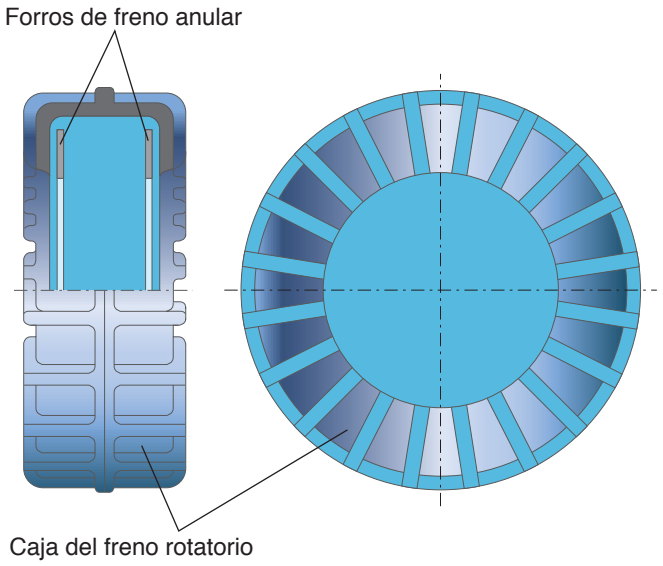
Funcionamiento

Al accionar el freno, los forros de freno se separan mediante la presión hidráulica y se aprietan contra el disco de freno.

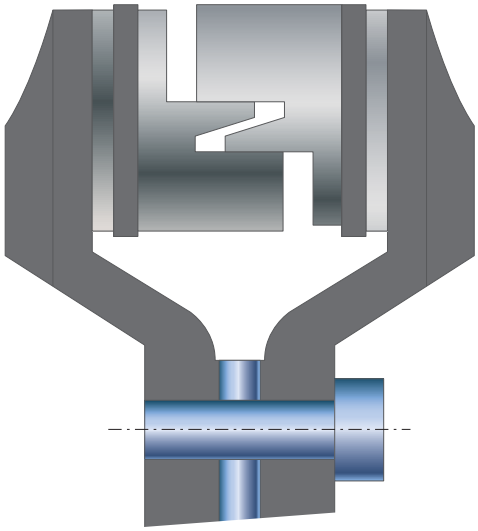
La ventaja de este freno es su comportamiento favorable frente a las altas temperaturas gracias a la amplia superficie de rozamiento.

Otra ventaja, es su ejecución cerrada que evita en gran medida, la entrada de partículas de suciedad.

Se emplea en vehículos agrícolas y en algunos vehículos blindados.



↑ **Figura 8.53.** Freno de disco cubierto.



↑ **Figura 8.54.** Acoplamiento del freno de disco totalmente cubierto.

3. Bomba de freno

La bomba o cilindro maestro es la encargada de generar la presión en el circuito hidráulico cuando el conductor pisa el pedal de freno. Transforma la fuerza de empuje aplicada sobre el pedal de freno en presión hidráulica.

Con la misma fuerza de empuje, la bomba es más eficiente cuanto menor es el diámetro de su cilindro. Es decir, genera mayor presión y envía menos caudal de líquido. Una bomba bien diseñada debe tener un recorrido suficiente que evite que el pedal llegue hasta el fondo y que la máxima fuerza que el conductor pueda aplicar no sobrepase los 800 N.

Las bombas de freno se caracterizan por:

- El número de cámaras y émbolos.
- El tipo de retén de estanqueidad (fijo o flotante).
- Emplear o no válvula de presión residual.

El tipo de bomba más sencillo es la bomba de un émbolo pero, debido a la legislación actual en la que los vehículos deben ir provistos de un doble circuito de freno, se utilizan las bombas de dos émbolos también denominadas bombas tándem.

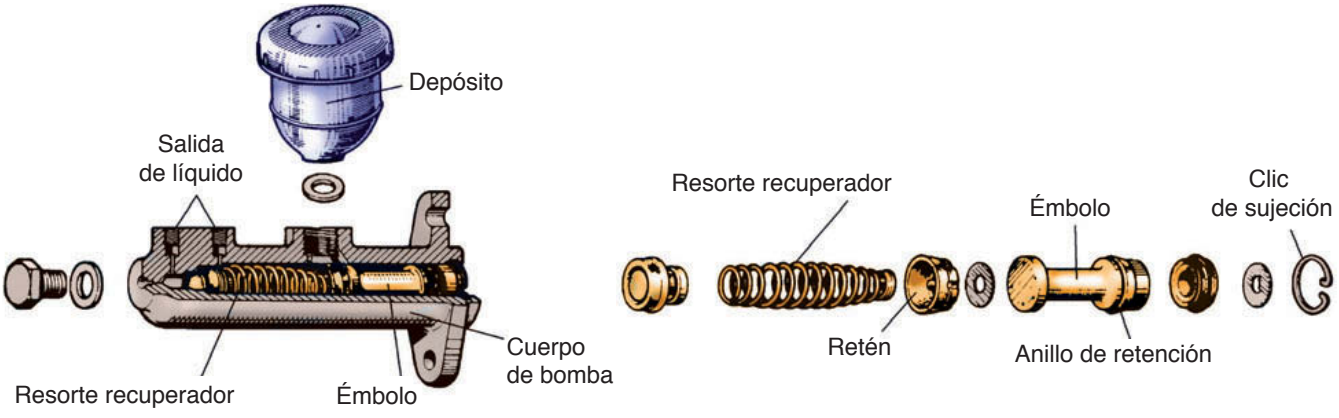
saber más

La bomba de freno que se emplea en automóviles se acciona con el pedal de freno colocado en el puesto de conducción. El pedal más empleado es una palanca de segundo género capaz de aumentar la fuerza que el conductor necesita aplicar sobre el émbolo de la bomba.

↑ **Figura 8.55.** Bomba de un émbolo con depósito.

↑ **Figura 8.56.** Bomba de dos émbolos con depósito.

La constitución básica y más sencilla de una bomba de freno está formada por los siguientes elementos: depósito de líquido, cuerpo de la bomba y cilindro, émbolo, retenes y muelle recuperador.



↑ **Figura 8.57.** Despiece de una bomba de un émbolo.

EJEMPLOS

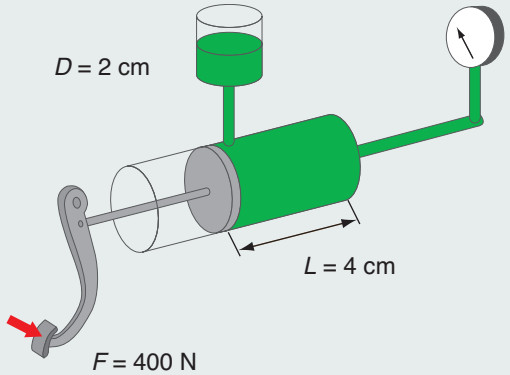
■ Calcula la presión que generará una bomba y el caudal que mandará en su recorrido con los siguientes datos.

Solución:

Fuerza aplicada = 400 N

Diámetro del émbolo = 2 cm

Carrera del émbolo = 4 cm



→ **Figura 8.58.**

$$s = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{3{,}14 \cdot (2\ \text{cm})^2}{4} = \frac{3{,}14 \cdot 4\ \text{cm}^2}{4} = 3{,}14\ \text{cm}^2$$

$$p = \frac{F}{S} = \frac{400\ \text{N}}{3{,}14\ \text{cm}^2} = 127{,}3\ \text{N/cm}^2 = 12{,}73\ \text{bar}$$

$$p = 12{,}73\ \text{bar}$$

$$\text{Caudal} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot L = \frac{3{,}14 \cdot (4\ \text{cm})^2}{4} \cdot 4\ \text{cm} = 12{,}56\ \text{cm}^3$$

■ Calcula la presión que generará una bomba que dispone de un émbolo de 1 cm de diámetro, aplicándole igual fuerza que en el ejercicio anterior. Calcula el caudal de líquido que mandará con una carrera de 4 cm.

Solución:

Fuerza aplicada = 400 N

Diámetro del émbolo = 1 cm

Carrera del émbolo = 4 cm

$$S = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{3{,}14 \cdot (1\ \text{cm})^2}{4} = 0{,}785\ \text{cm}^2$$

$$p = \frac{F}{S} = \frac{400\ \text{N}}{0{,}785\ \text{cm}^2} = 509{,}5\ \text{N/cm}^2 = 50{,}95\ \text{bar}$$

El caudal suministrado será:

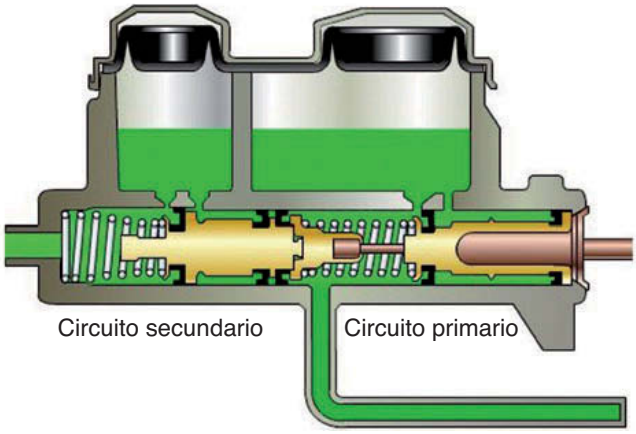
$L = 4$ cm

$$\text{Caudal} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot L = \frac{3{,}14 \cdot (1\ \text{cm})^2}{4} \cdot 4\ \text{cm} = 3{,}14\ \text{cm}^3$$

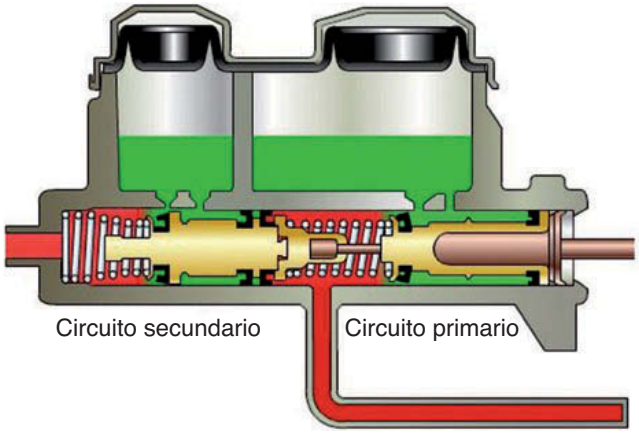
La presión en la segunda bomba se multiplica por cuatro y en esa misma proporción se reduce el caudal (Q).

3.1. Bomba tándem (doble émbolo)

La bomba tándem o de doble émbolo dispone de dos pistones, colocados uno a continuación del otro, los cuales envían presión hidráulica a dos circuitos independientes, primario y secundario.



↑ **Figura 8.59.** Bomba tándem, freno en reposo.



↑ **Figura 8.60.** Bomba tándem, freno accionado.

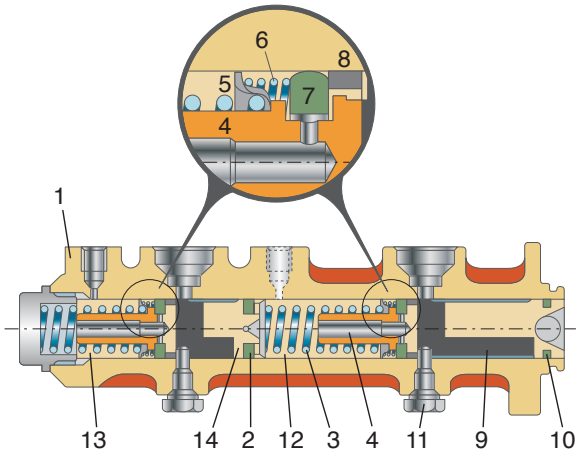
El principal objetivo de este tipo de bomba es mantener con seguridad parte del sistema de freno cuando existe una avería en uno de los circuitos. Cada circuito es independiente de tal manera que en caso de rotura de alguna tubería o elemento, solo deja de actuar el circuito donde se produce la avería, con lo que el otro circuito permanece intacto para el control de frenado.

Funcionamiento

El émbolo (9) recibe la fuerza que ejerce el pedal y desplaza el porta-anillo válvula flotante (4) y el anillo o retén (7) que estanqueiza la cámara (12). La presión creada comprime el retén (2) que cierra la cámara (12) independizando las dos cámaras de la bomba (12) y (13). La presión creada en la cámara (12) provoca el desplazamiento del anillo flotante de la cámara (13), que también se estanqueiza. El líquido de frenos es impulsado en las dos cámaras y obligado a salir por los orificios del cuerpo de la bomba hacia los cilindros de las pinzas de freno o bombines de los tambores para desplazar las pastillas o zapatas y producir el frenado.

caso práctico inicial

Si el Buggy va a disponer de freno en las cuatro ruedas es aconsejable montar una bomba tándem.



1. Cuerpo de bomba
2. Retén de separación entre cámaras
3. Resorte de recuperación de la cámara 12
4. Porta-anillo válvula flotante
5. Cazoleta de apoyo muelle de la válvula
6. Muelle de la válvula
7. Anillo flotante
8. Anillo de seguridad
9. Émbolo
10. Retén de estanqueidad posterior
11. Tornillo de retención
12. Cámara posterior
13. Cámara anterior
14. Émbolo

↑ **Figura 8.61.** Sección del interior de la bomba tándem.

Cuando el conductor levanta el pie del pedal, disminuyen la fuerza que se ejerce sobre el émbolo (9) y la presión del circuito, y ambos émbolos retroceden por medio de los muelles recuperadores (3). En el retroceso, los porta-anillos se apoyan sobre los tornillos de retención (11), los cuales desplazan a los anillos flotantes (7) mediante los anillos de seguridad (8), para permitir el paso del líquido hacia el depósito.

Los anillos flotantes se mantienen constantemente comprimidos gracias a los muelles (6) apoyados sobre las cazoletas (5).

En caso de rotura de una canalización, la compresión del circuito no averiado tiene lugar del siguiente modo:

- Si la rotura se produce en una canalización unida a la cámara (12): la compresión del líquido en la cámara (13) no se produce hasta el porta-anillo (4), no empuja al émbolo (14).
- Si la avería se produce en el circuito de la cámara (13): la compresión en el circuito (12) no se produce hasta que el porta-anillo flotante de la cámara (13), no toca el fondo del cilindro.

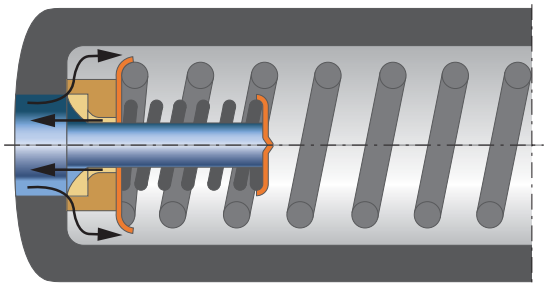
3.2. Válvula de presión residual

saber más

Puede ocurrir que, en una misma bomba, el circuito que alimenta el freno de disco no disponga de válvulas de presión residual y en cambio el circuito del freno de tambor sí la incorpore.

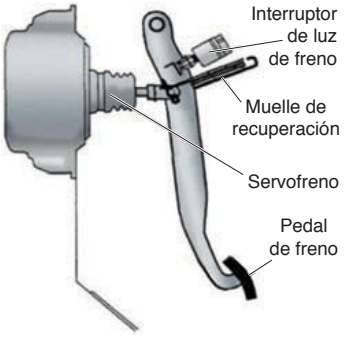
Las bombas de freno para sistemas de freno de tambor suelen incorporar el sistema de válvula de presión residual (véase figura 8.62). Estas válvulas mantienen una presión de 0,7 a 0,9 bar en las tuberías de distribución para evitar la entrada de aire en el circuito si falla la estanqueidad en los bombines.

En los sistemas de freno de disco no es necesario montar este tipo de válvulas en las bombas.



→ **Figura 8.62.** Válvula de presión residual.

4. Pedal de freno



↑ **Figura 8.63.** Pedal de freno.

El pedal de freno consiste en una palanca que actúa por medio de un empujador sobre el cilindro principal o bomba de freno con el fin de poder realizar la activación del freno de servicio.

La relación mecánica de la palanca está comprendida entre 1:5 y 1:8. Con esta relación, la fuerza máxima aproximada que se puede realizar con los pies es de 800 N. En el circuito se puede llegar a generar una presión de unos 100 bar.

El pedal de freno incorpora un interruptor o conmutador, para la activación de la luz de freno, que cierra el circuito eléctrico cuando el conductor pisa el pedal.

Para el retorno del pedal de freno a la posición de reposo, este monta un muelle que a su vez va fijado a la carrocería.

5. Servofreno

Los sistemas de ayuda para el accionamiento del freno se conocen como servofrenos. El servofreno es un dispositivo capaz de amplificar la fuerza que el conductor realiza sobre el pedal ya sea para obtener una frenada dada con un menor esfuerzo o bien para obtener un esfuerzo dado con una frenada más importante.

El servofreno va situado entre el pedal de freno y el cilindro maestro de freno al cual va atornillado por un lado y por el otro a la carrocería.

caso práctico inicial

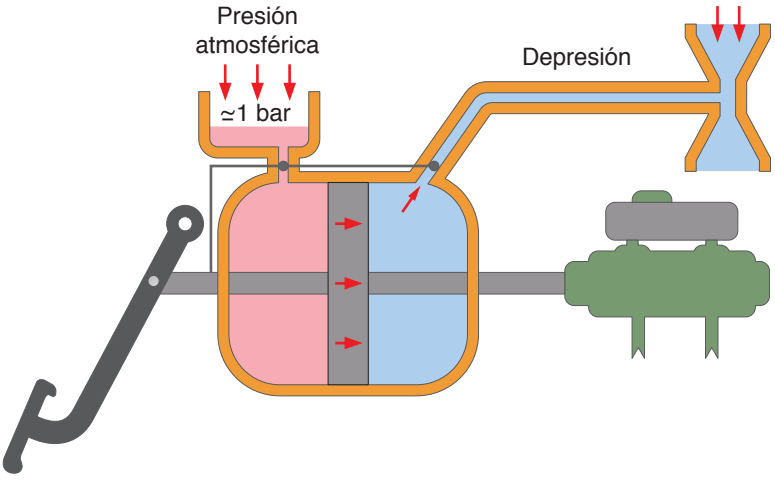
En el Buggy no es necesario montar un servofreno ya que es un vehículo muy ligero y con la fuerza de accionamiento del conductor es suficiente para que el sistema de freno de disco sea capaz de detener el vehículo en cualquier circunstancia.

↑ **Figura 8.64.** Montaje del servofreno.

5.1. Servofreno por vacío

El servofreno por vacío emplea la depresión que se produce en el colector de admisión en los motores de gasolina (véase figura 8.65) o la depresión generada por una bomba de vacío en los motores diésel (véase figura 8.67).

El principio de funcionamiento del servofreno por vacío se basa en la fuerza que ejerce la presión atmosférica sobre una cara de un émbolo, mientras que en la otra se somete a depresión (véase figura 8.66).



↑ **Figura 8.66.** Principio de funcionamiento del servo.

↑ **Figura 8.65.** Canalización para el vacío que une el colector con el servofreno.

↑ **Figura 8.67.** Canalización para el vacío que une la bomba de vacío con el servofreno.

EJEMPLOS

■ **Calcula la fuerza que realiza un servofreno que dispone de un émbolo con un diámetro de 25 cm si las dos caras están sometidas a la presión atmosférica ± 1 bar.**

Solución:

El servofreno no realiza amplificación de la fuerza de empuje ya que las dos superficies de los émbolos están a la misma presión, 1 bar.

■ **Calcula la fuerza que realiza el servofreno de la actividad anterior si existe una depresión en una cara del émbolo de 0,5 bar.**

Solución:

1. Calcular la superficie útil del émbolo, el área.

$$S = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{3{,}14 \cdot (25\ \text{cm})^2}{4} = 490{,}6\ \text{cm}^2$$

2. Calcular la diferencia de presión entre las caras.

$$p = \frac{F}{S};\ F = p \cdot S$$

1 bar = 10 N/cm²

0,5 bar = 5 N/cm²

$$F = 5\ \text{N/cm}^2 \cdot 490{,}6\ \text{cm}^2 = 2.453\ \text{N}$$

El servofreno puede realizar una fuerza de 2.453 N, con una depresión de 0,5 bar y una presión atmosférica de 1 bar.

Servofreno Mastervac

El servofreno Mastervac es el más empleado en los automóviles. Se monta intercalado entre el pedal del freno y la bomba.

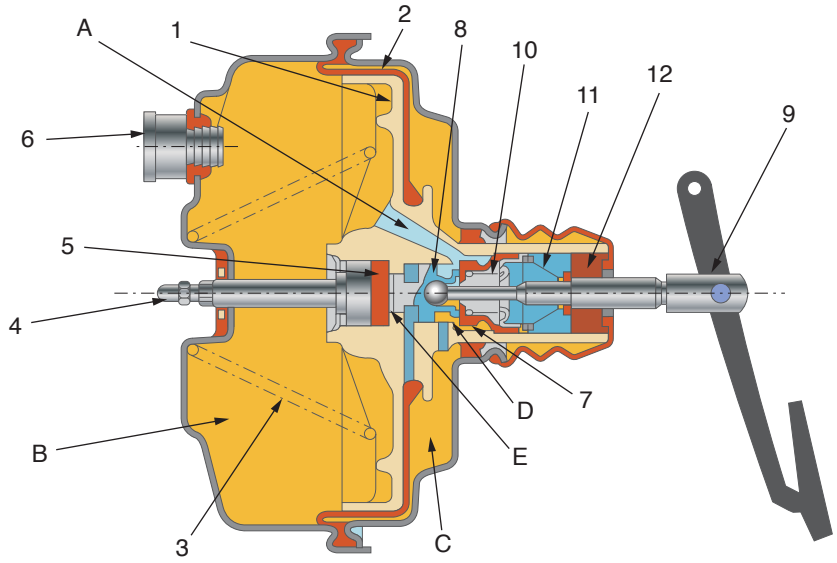
↑ **Figura 8.68.** Sección de un servofreno.

Constitución del servofreno Mastervac

La cámara de vacío contiene un pistón de plástico (1) montado sobre un diafragma de caucho (2), que asegura la estanqueidad entre los dos casquillos de chapa de la cámara (véase figura 8.69). Una de las coquillas lleva la válvula antirretorno (6) que se conecta con un tubo al colector de admisión. La válvula antirretorno (6) retiene la presión en la cámara (B) del servofreno. El muelle (3), el mayor del conjunto, ayuda al pistón (1) a retornar a su posición de partida cuando deja de actuar el servo.

El lado del pistón orientado hacia el cilindro emisor está conectado, gracias a una goma (5), al vástago de mando del cilindro de la bomba (4). El lado del pistón (1), que está orientado hacia el pedal de freno, contiene todo el mecanismo de mando del servofreno.

Los principales elementos del mecanismo del servofreno son: la válvula (7), que se desplaza hacia el cilindro de empuje (4) por la acción del muelle (10) y el distribuidor-inmersor (8), que conecta con el vástago de empuje, tiende a volver constantemente hacia el pedal por la acción del muelle (11) que tiene mayor fuerza que el muelle (10).



← **Figura 8.69.** Servofreno Mastervac.

Funcionamiento

En reposo, sin pisar el pedal de freno, el distribuidor-inmersor (8) se aplasta contra la válvula (7), cuyo muelle (10) es ligeramente comprimido; es entonces cuando el muelle (11) tiene mayor dureza que el otro muelle (10). En esta posición, el paso (A) está abierto entre el cuerpo del pistón (1) y la válvula (7), que pone en comunicación las dos cámaras (B) y (C) de cada lado del diafragma (2) del servofreno (véase figura 8.69). Con el motor arrancado, la depresión en el colector de admisión crea un vacío progresivo en la cámara (B), la mayor del servo, que se encuentra conectada por la válvula (6) al colector de admisión. En posición de reposo del pedal, se establece la misma depresión en las dos cámaras y caras del pistón (1) (véase figura 8.69). El servofreno no amplifica.

Cuando se frena, el conjunto pistón-vástago de empuje-distribuidor-inmersor se desplaza hacia el cilindro emisor para recuperar, en primer lugar, los juegos del mando y de los frenos, y después, solo el conjunto vástago del pistón distribuidor-inmersor continua su desplazamiento venciendo la fuerza del muelle (11).

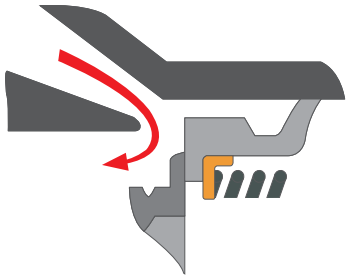
Esto permite al muelle (10) desplazar igualmente la válvula (7) hacia el cilindro emisor que empuja la bomba de freno contra el cuerpo del pistón (1) para cerrar el paso (A), ya que hay más comunicación entre las cámaras (B) y (C) (véase figura 8.71).

Si se continúa frenando, el movimiento del conjunto vástago de empuje-distribuidor-inmersor sigue, cesa el contacto entre el distribuidor-inmersor (8) y la válvula (7) mientras la otra válvula hace tope contra el pistón (1). Cuando el paso (A) está cerrado, el paso (D) se abre entre estos dos elementos, lo que permite la entrada de aire atmosférico por el tapón filtrante (12), solo en la cámara (C), puesto que ha sido separada de la cámara (B) en los desplazamientos precedentes (véase figura 8.72).

Se establece, en esta situación, una diferencia de presión entre las dos cámaras. La depresión que existe en la cámara (B) es la del colector de admisión mientras que la presión en la cámara (C) es la presión atmosférica.

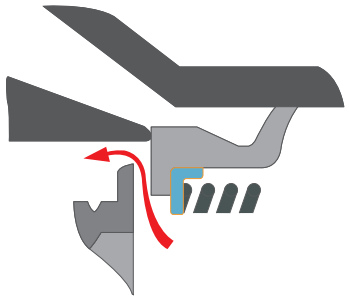
Esta diferencia de presiones provoca el desplazamiento hacia el cilindro emisor del pistón (1), e igualmente al vástago de mando (4) del cilindro emisor por medio de la arandela de reacción (5).

El líquido de frenos no se puede comprimir, cuando el sistema de freno es accionado se establece una presión de reacción del líquido sobre el vástago de mando (4) que es retransmitida a la arandela de reacción (5).



↑ **Figura 8.70.** Paso abierto desde la cámara A.

↑ **Figura 8.71.** Paso cerrado.



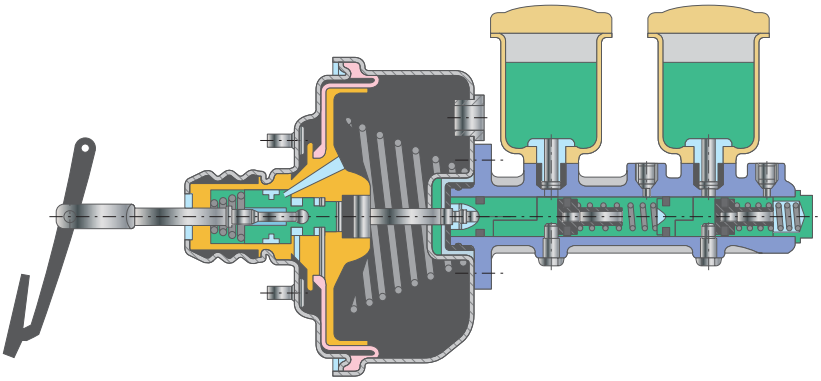
↑ **Figura 8.72.** Entrada de aire atmosférico.

saber más

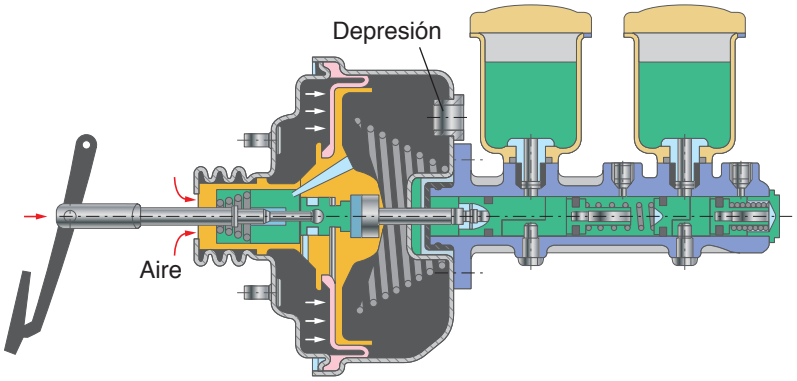
Servofreno tándem

El servofreno tándem está compuesto por dos membranas elásticas que trabajan en serie y potencian su efecto.

Si la presión en el circuito hidráulico es muy elevada, la contrapresión actúa sobre la arandela de reacción (5) que se deforma y llega a rechazar el distribuidor-inmersor (8) para cerrar la admisión de presión atmosférica, con lo que disminuye la fuerza de frenado. Si se necesita realizar mayor fuerza de frenado, será necesario pisar con mayor fuerza el pedal de freno.



→ **Figura 8.73.** Posición de reposo.

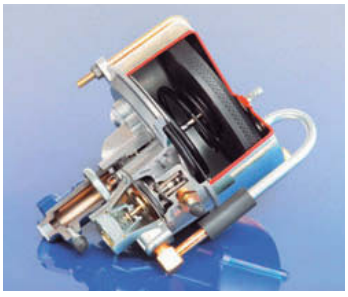


→ **Figura 8.74.** Posición de frenada.

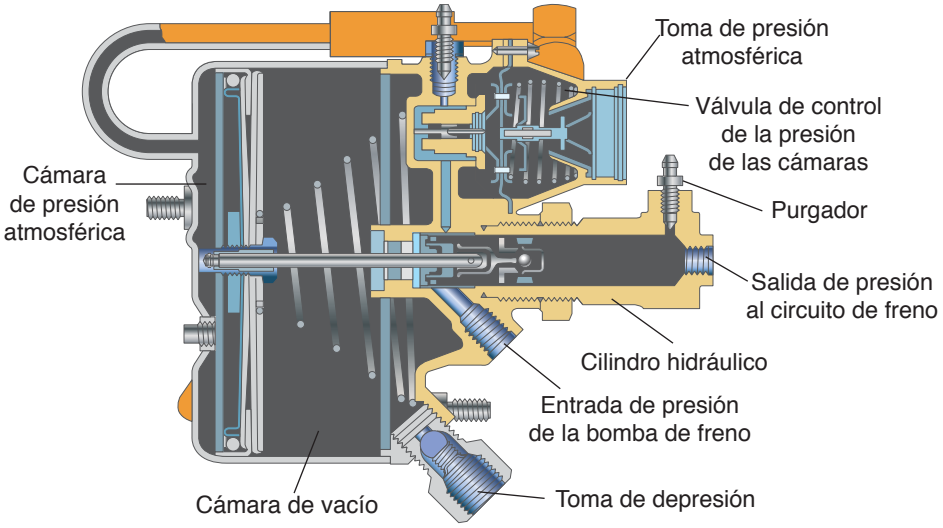
Servofreno Hidrovac

El servofreno Hidrovac de la casa Bendix emplea la depresión en su funcionamiento y la principal diferencia con el servofreno Mastervac es que se puede accionar hidráulicamente a distancia.

Este servofreno está constituido principalmente por tres elementos: un cilindro hidráulico, un cuerpo de vacío y una válvula de control.



↑ **Figura 8.75.** Sección del servofreno Hidrovac.



→ **Figura 8.76.** Principales elementos del servofreno Hidrovac.

Bomba de vacío

Este mecanismo genera la depresión necesaria para el funcionamiento del servofreno. Esta depresión o presión negativa va de 0.5 a 0.9 bar.

Las bombas de vacío mecánicas se montan generalmente en la culata y se conectan con el árbol de levas, directamente o mediante una polea, para su funcionamiento. Las bombas más utilizadas son las centrífugas.

Actualmente se utilizan bombas de vacío gestionadas electrónicamente. Estas incluyen un motor eléctrico que hace funcionar la bomba centrífuga y que es gestionado por una unidad de control, la cual calcula la presión en el amplificador de servofreno, previo análisis de las carga y régimen, posición de la mariposa, etc.

↑ **Figura 8.77.** Bomba de vacío para motores diésel.

↑ **Figura 8.78.** Montaje de la bomba de vacío en el eje del árbol de levas de un motor diésel.

saber más

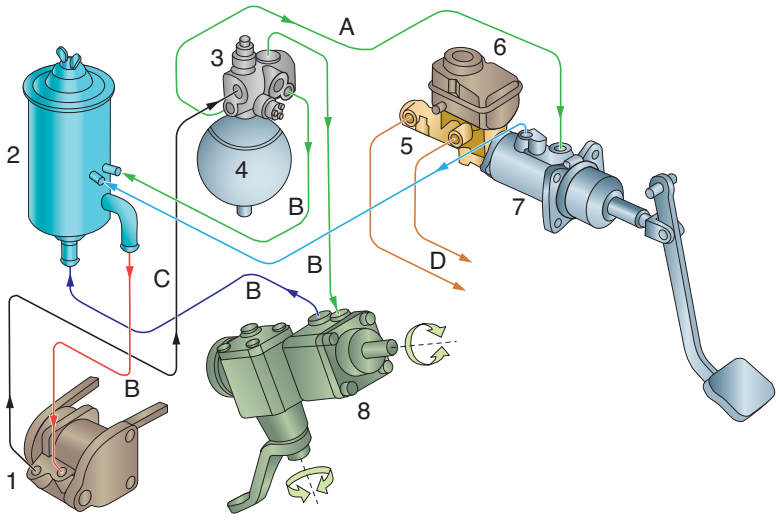
Los vehículos eléctricos suelen incorporar bombas de vacío eléctricas con el fin de conseguir el vacío necesario para el servofreno.

↑ **Figura 8.79.** Bomba de vacío eléctrica.

5.2. Servofreno hidráulico

El servofreno hidráulico es utilizado por algunos vehículos que disponen de un sistema hidráulico de energía, generalmente la servodirección, y cuyo motor genera una escasa depresión en la admisión.

La ayuda se consigue gracias a la presión hidráulica generada por la bomba de dirección y que es acumulada para su requerimiento. Esta presión hidráulica es enviada desde el regulador de comienzo controlado por presión hacia el servofreno hidráulico.

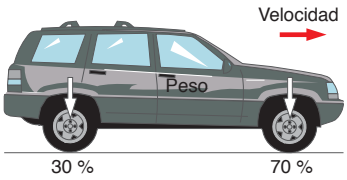


1. Bomba de dirección
2. Depósito de reserva con filtro
3. Regulador de comienzo controlado por presión
4. Acumulador hidráulico
5. Cilindro principal
6. Depósito de líquido
7. Servofreno hidráulico
8. Servodirección

A. Circuito de servofreno
B. Tubería de aspiración y retorno
C. Circuito de la dirección
D. Circuito de freno

← **Figura 8.80.** Esquema de funcionamiento del servofreno hidráulico.

6. Correctores de frenada del eje trasero



↑ **Figura 8.81.** Reparto de pesos en la frenada.

En una frenada, el peso que recae sobre cada eje en el vehículo, depende de la velocidad y de la deceleración. Por ejemplo, en vehículos con motor delantero, sobre este eje recae entre el 60 y el 70% del peso y sobre el trasero entre el 30 o 40%.

Los fabricantes diseñan los circuitos de freno teniendo en cuenta el peso que recae sobre cada eje y separan el circuito de freno del eje delantero del circuito del eje trasero.

El circuito delantero se sobredimensiona teniendo en cuenta que sobre él recae la mayor parte del peso y por ello se debe realizar la mayor fuerza de frenado.

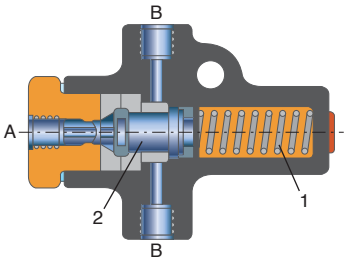
En el eje trasero, la presión se modula y se controla para evitar que en determinadas circunstancias y en deceleraciones bruscas reciba la misma presión que en el eje delantero. Al recaer menor peso sobre el eje trasero, se pueden bloquear las ruedas y perder la estabilidad del vehículo.

Los dispositivos que se montan para evitar el bloqueo del eje trasero se conocen como compensadores y limitadores de frenada.

Los compensadores de frenada más empleados son:

- Compensador fijo, independiente de la suspensión.
- Compensador limitador en función de la carga del vehículo.
- Compensador integrado en el bombín.
- Compensadores en función de la deceleración.
- Válvulas compensadoras en función de las presiones.

6.1. Compensador fijo

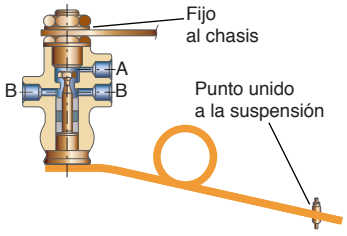


↑ **Figura 8.82.** Compensador fijo.

Este compensador limitador es el modelo más simple y sencillo que se puede montar. Limita la presión en el eje trasero a partir de un determinado valor de presión previamente tarada, por ejemplo, 25 bar. Cuando la presión supera este valor, el limitador cierra el paso de líquido de frenos hacia el eje trasero sin tener en cuenta el peso que soporte este eje.

Funcionamiento

El líquido, que proviene desde la bomba, entra por la canalización (A) (figura 8.82). Cuando la presión aumenta se vence la resistencia del muelle (1) y el émbolo (2) se desplaza cerrando el paso hacia las canalizaciones de salida (B). Si la presión desde la bomba sigue aumentando, las presiones de salida no aumentarán.



↑ **Figura 8.83.** Compensador limitador.

6.2. Compensador limitador en función de la carga

Este limitador no está previamente tarado a una presión máxima de corte, sino que esta depende de la fuerza que realice el resorte contra el émbolo.

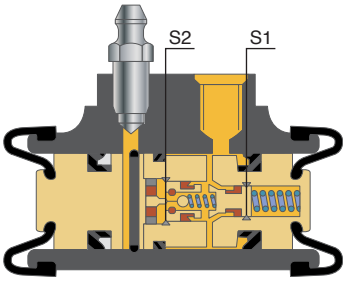
El resorte elástico se une a la carrocería con un punto fijo ligado a la suspensión.

La fuerza del resorte dependerá de la carga del vehículo; cuanto mayor sea la carga, mayor será la fuerza contra el émbolo y mayor la presión máxima de salida por las canalizaciones (B) a los bombines o pinzas de freno.

6.3. Compensador integrado en el bombín

El compensador integrado en el bombín regula y limita la presión que recibe el bombín de freno. La regulación de la presión no depende de la carga ni de la deceleración.

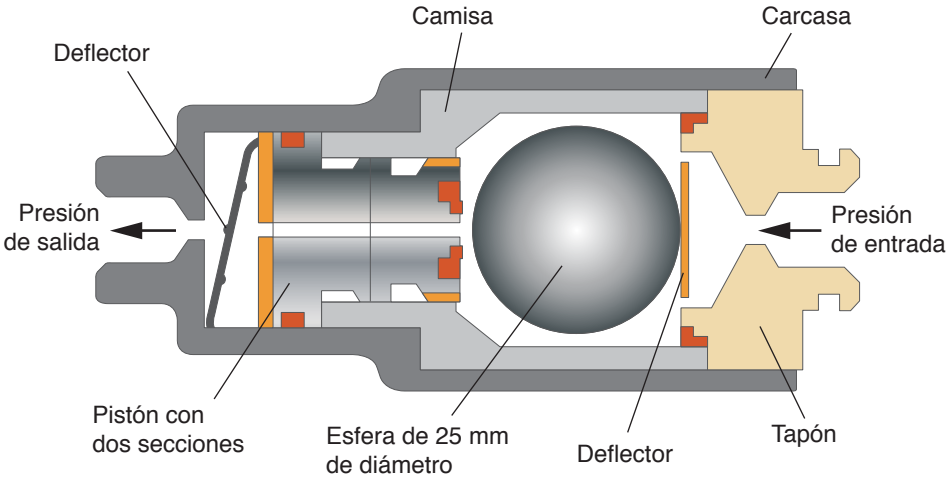
Están diseñados para admitir presión y frenar hasta un límite. Cuando la presión que manda la bomba supera la presión límite o de corte, el dispositivo cierra el paso del líquido y no realiza más fuerza de frenado sobre las zapatas.



↑ **Figura 8.84.** Sección de un compensador integrado en los bombines.

6.4. Compensador en función de la deceleración

El compensador en función de la deceleración también se conoce como compensador de inercia (véase figura 8.85). El accionamiento del dispositivo se produce por la deceleración del vehículo. El punto de compensación o corte está definido por una deceleración de ±5 m/s^2, lo que determina un ángulo de rampa o montaje, dependiendo del modelo, de 22° ± 1°.



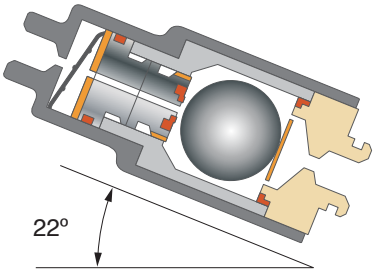
↑ **Figura 8.85.** Compensador en función de la deceleración.

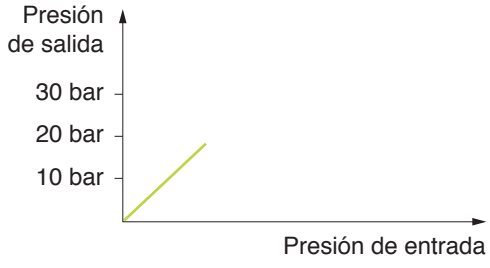
La presión necesaria para proporcionar estos 5 m/s^2 varía dependiendo de las condiciones de utilización (plena carga, media carga, etc.), lo que implica que el compensador de inercia está relacionado directamente con la carga del vehículo.

↑ **Figura 8.86.** Montaje del compensador en función de la deceleración.

Funcionamiento

En reposo (primera fase), la inclinación del compensador (22°) mantiene la bola y su apoyo sobre el difusor. Con el compensador en plena abertura, la presión de salida es igual a la presión de entrada.



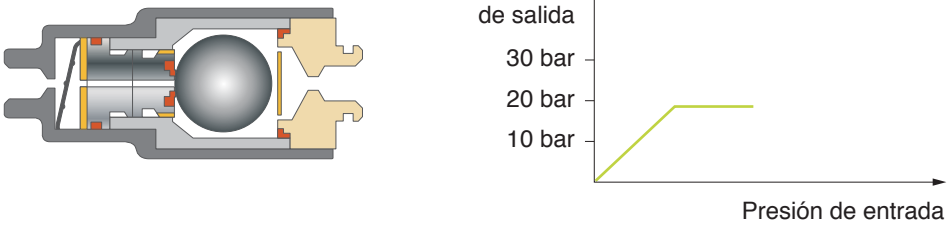


↑ **Figura 8.87.** Primera fase.

caso práctico inicial

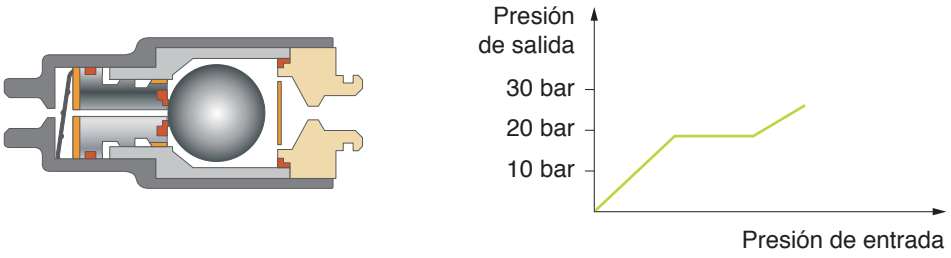
Un repartidor manual de frenada es un dispositivo que permite regular la fuerza de frenado entre los ejes trasero y delantero según la voluntad del conductor.

En la segunda fase, el compensador corta la presión cuando se aproxima a la deceleración de 5 m/s², la bola sube sobre la rampa y cierra el centro del pistón con lo que el circuito trasero queda aislado. La presión del circuito trasero no se alterará en tanto la presión de entrada actúe y no aumente.



↑ **Figura 8.88.** Segunda fase.

En la tercera fase (función compensadora), si la presión de entrada aumenta de manera que sea mayor que la trasera, el conjunto bola-pistón se desplaza y genera una presión suplementaria, en el circuito trasero, por la diferencia entre las secciones de las cámaras (véase figura 8.89).



↑ **Figura 8.89.** Tercera fase.

6.5. Válvula compensadora en función de la presión

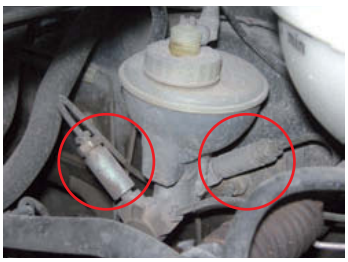
La válvula compensadora en función de la presión se monta a la salida de la bomba de freno, a la salida del conjunto hidráulico del ABS o en las canalizaciones para el eje trasero.

Funcionamiento

Estas válvulas equilibran el frenado delantero con respecto al trasero controlando la presión hidráulica del líquido de frenos en los frenos traseros.

Cuando se aplica una ligera fuerza en el pedal, la válvula dosificadora permite la circulación normal de líquido a los frenos traseros. Sin embargo, con una mayor fuerza sobre el pedal, la válvula reduce la presión de líquido.

El cilindro maestro cuenta con un diseño de cuatro salidas con dos válvulas compensadoras atornilladas que se fijan directamente en el alojamiento del cilindro maestro; cada válvula dosificadora controla una rueda trasera (véase figura 8.90).



↑ **Figura 8.90.** Válvulas compensadoras en función de la presión montadas a la salida de la bomba.

En algunos modelos que disponen de ABS y EBD, no se montan correctores de frenada. La fuerza del frenado de las ruedas traseras se controla por la distribución de freno electrónica (EBD) que realiza la función de la válvula dosificadora trasera. El sistema EBD emplea el sistema ABS para controlar el derrapaje de las ruedas traseras en un frenado parcial. La fuerza del frenado de las ruedas traseras se controla electrónicamente mediante las válvulas de entrada y salida situadas en el bloque hidráulico.

7. Canalizaciones

Los elementos del sistema de freno por sí solos no pueden constituir un circuito hidráulico. La bomba y el bombín de freno no pueden funcionar de forma autónoma; por ello, es necesario unirlos mediante canalizaciones que permitan que el líquido circule por el circuito hidráulico (véase figura 8.91).

Las canalizaciones para el circuito de freno pueden ser rígidas o flexibles:

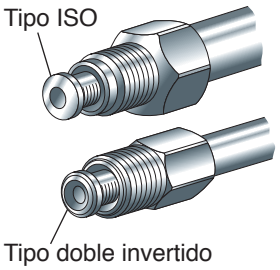
- Las canalizaciones rígidas se denominan tuberías y se fabrican generalmente de acero. En algunos casos estas canalizaciones disponen de una doble pared.
- Las canalizaciones flexibles se denominan latiguillos. Los latiguillos son flexibles y se fabrican con caucho flexible protegido con un revestimiento metálico o textil. Estas canalizaciones absorben las oscilaciones del movimiento del vehículo.

La unión entre las tuberías fijas y las flexibles, o entre tuberías fijas, se realiza a través de rácores de conexión.

Con el fin de asegurar una perfecta estanqueidad, las tuberías tienen su terminación de forma abocardada. Esta terminación puede ser macho o hembra. En algunos casos la estanqueidad se consigue a través de arandelas deformables de cobre o aluminio.

Las canalizaciones y los latiguillos se fijan a la carrocería por medio de abrazaderas o presillas de goma que se adaptan a las tuberías y que evitan que las vibraciones de las tuberías produzcan ruidos y puedan fatigarlas y romperlas.

↑ **Figura 8.91.** Unión entre canalización flexible y rígida.



↑ **Figura 8.92.** Rácores de conexión.

caso práctico inicial

En el Buggy, desde la bomba de freno y a lo largo del chasis se va a montar tubería de acero, y desde el chasis a las pinzas de freno, latiguillos de caucho reforzados.

↑ **Figura 8.93.** Latiguillo de freno.

8. Líquido de frenos

El líquido de frenos es el elemento activo del circuito de freno y transmite la presión entre la bomba y los bombines. Este tiene que cumplir ciertos requisitos para que su función se realice con seguridad y eficacia.

Las normas que clasifican a los líquidos de frenos son muy parecidas entre sí: J1703, ISO4925, FMVSS116. Actualmente, la más empleada es la regulada por el Departament of Transportation (DOT) que agrupa las FMVSS116.

Comprobación	FMVSS116			SAE J1703
Requisitos/nivel	DOT 3	DOT 4	DOT 5	11. 1983
Punto de ebullición en seco en °C (min)	205	230	260	205
Punto de ebullición en húmedo, en °C (min)	140	155	180	140
Viscosidad en frío a –40 °C, en mm^2/s	1.500	1.800	900	1.800

↑ **Tabla 8.1.** Tabla de características de los líquidos de frenos.

↑ **Figura 8.94.** Líquido de frenos DOT 4.

8.1. Propiedades de los líquidos

Punto de ebullición de equilibrio del líquido (en seco)

El punto de ebullición define la temperatura máxima del líquido antes de cambiar a estado gaseoso. Si se supera esta temperatura en el líquido se pueden formar burbujas de vapor y el líquido pierde eficacia.

saber más

El comprobador del líquido de frenos permite determinar el contenido de agua que existe en el líquido de frenos y evaluar cuando ha de sustituirse.

Punto de ebullición húmedo

El líquido de frenos es higroscópico, absorbe la humedad. El punto de ebullición húmedo define la temperatura máxima de ebullición con un porcentaje de agua de ± 3,5%.

El líquido de frenos, cuando absorbe agua, pierde sus propiedades y desciende considerablemente su temperatura de ebullición. El punto de ebullición húmedo es más bajo que el punto de ebullición en seco (véase tabla 8.1).

Viscosidad

La influencia de la temperatura sobre la viscosidad debe ser la menor posible para garantizar la eficacia del líquido en temperaturas elevadas de trabajo.

Propiedades anticorrosivas

El líquido debe ser anticorrosivo para evitar la oxidación de los elementos férricos del circuito. Los aditivos que se le añaden garantizan esta propiedad.

Compatibilidad con los elastómeros

Los líquidos de frenos deben ser compatibles con los elastómeros que se emplean en las bombas y demás elementos del circuito ya que, de no ser así, estos elementos se descomponen y dañan el circuito.

8.2. Tipos de líquidos

Actualmente se emplean dos tipos de líquidos de frenos: éteres de glicol y aceites minerales.

Líquido de éteres de glicol

Es el líquido de frenos más empleado en automóviles. No procede de aceites minerales, se trata de monoéter de glicoles bajos de polietileno. Cumple los requisitos DOT 3 y es higroscópico, por lo que se recomienda su cambio cada dos o tres años.

Este líquido ataca las pinturas y los barnices y es muy corrosivo para la piel, por ello, es aconsejable emplear guantes para su manipulación.

Líquido de aceites minerales

Estos líquidos proceden de derivados del petróleo. No son higroscópicos y no absorben agua por lo que su punto de ebullición no varía.

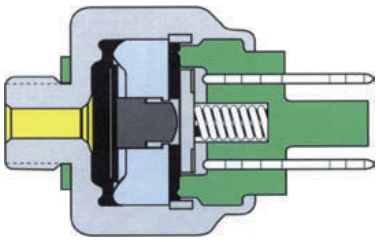
Los líquidos de aceites minerales tipo LHM de Citroën no son compatibles con los líquidos de frenos normales de «éteres de glicol» (tipo DOT), motivo por lo que no se deben mezclar.

9. Luz de freno y testigos luminosos

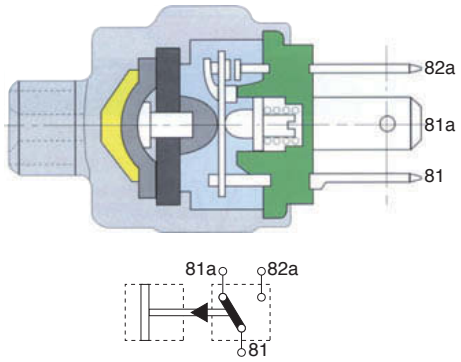
El sistema de freno incorpora un circuito eléctrico que hace que se ilumine la **luz de freno** cuando se realiza la acción de frenado. La luz de freno o «stop» tiene la misión de indicar que se está haciendo uso del freno de servicio.

Este circuito está formado por un conmutador de freno situado en el pedal que en el momento de su accionamiento cierra el circuito dejando pasar la corriente desde el fusible a las lámparas del piloto que se iluminan al estar conectadas por el otro extremo a masa.

Al dejar de accionar el pedal de freno, y regresar éste a su posición de reposo, queda interrumpido el circuito, apagándose la luz de los pilotos.



↑ **Figura 8.96.** Conmutador de dos terminales.



↑ **Figura 8.97.** Conmutador de 3 terminales.

Con el fin de mantener un nivel suficiente en el depósito del líquido de frenos, el sistema de freno puede incorporar un dispositivo de aviso mediante un testigo luminoso en el cuadro de instrumentos. El **testigo de nivel del líquido de frenos** se ilumina en el caso de que el líquido de frenos mantenido en el depósito disminuya por causa de alguna fuga.

Este testigo recibe corriente eléctrica y se ilumina por medio de un sensor de nivel instalado en el tapón del depósito del líquido de frenos o en el propio depósito. Este sensor de nivel dispone de un flotador que en caso de descender el nivel conmuta eléctricamente el circuito (véase figura 8.98).

Otro indicador luminoso del sistema de freno es el **testigo de desgaste de las pastillas de freno.** Este testigo, alojado en el cuadro de instrumentos de algunos vehículos, indica cuándo las pastillas de freno deben cambiarse por haber llegado a un espesor de ferodo mínimo.

Para que el testigo se active, la pastilla de freno incorpora en el ferodo un cable conectado al testigo luminoso.

Cuando el vehículo va en marcha, el testigo se encuentra apagado. Al accionar el freno, si el ferodo de la pastilla se encuentra desgastado, el cable cierra el circuito a masa al rozar con el disco y el testigo se ilumina.

Otro indicador utilizado en los vehículos es el **testigo de accionamiento del freno de estacionamiento.** Este se encuentra situado en el cuadro de instrumentos y funciona mediante una señal enviada por el pulsador situado en el freno de mano que cierra el circuito a masa al ser accionado.

saber más

La luz de freno adaptativa mejora la seguridad activa, pues aumenta la eficacia de la señalización al frenar en situaciones de emergencia. Para ello, al frenar a fondo parpadean las tres luces de freno en la zaga del vehículo. Con ello se advierte mejor a los demás conductores y se acorta su tiempo de reacción. Si el vehículo frena hasta la detención, se conectan automáticamente los intermitentes de advertencia.

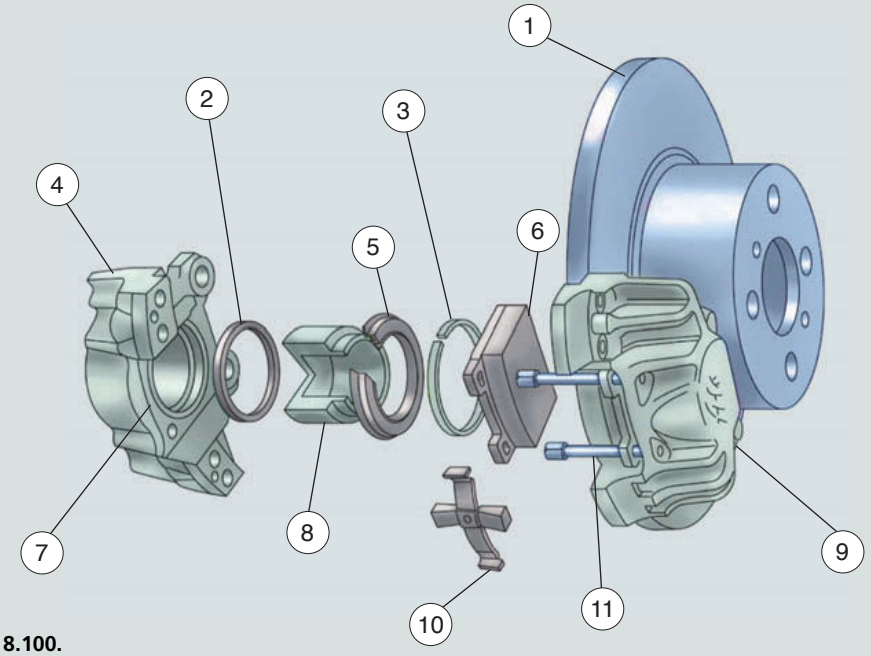
↑ **Figura 8.95.** Luz de freno adaptativa.

↑ **Figura 8.98.** Sensor de nivel del líquido de frenos.

↑ **Figura 8.99.** Testigo de avería o desgaste de las pastillas de freno o nivel bajo de líquido de frenos, testigo de accionamiento del freno de estacionamiento y testigo de avería del ABS.

ACTIVIDADES FINALES

1. Enumera los componentes del freno de tambor y la misión de cada uno en el conjunto.
2. Cita los dispositivos de frenado o accionamiento de zapatas y explica sus características.
3. Explica por qué se necesita ajustar las zapatas cuando se desgastan sus forros. ¿Cuáles son los dispositivos de ajuste manual más empleados?
4. Calcula la fuerza que realiza un bombín con un émbolo de 3 cm de diámetro. Conocemos que la presión que genera el circuito hidráulico es de 40 bar.
   - Calcula la fuerza que realiza un bombín nuevo que hemos sustituido por el anterior y que dispone de dos émbolos de 3 cm de diámetro. La presión del circuito se mantiene a 40 bar.
   - ¿Realizan el mismo desplazamiento, en milímetros, los dos elementos del segundo bombín? Razona tu respuesta.
5. Enumera los componentes del freno de disco y la misión de cada uno en el conjunto.
6. ¿Qué tipos de discos se emplean actualmente para disipar el calor lo mas rápido posible?
7. ¿Qué misión realiza el conjunto servofreno y bomba en el circuito de freno?
8. Con el motor parado, ¿cómo se comporta un vehículo con servofreno? ¿Puede frenar?
9. En un vehículo equipado con limitador de frenada en función de la carga del eje trasero, ¿cuándo recibe menor presión, cargado o descargado? Razona tu respuesta.
10. Explica las propiedades que deben reunir los líquidos de frenos.
11. Nombra, en tu cuaderno, los componentes del freno de disco de la siguiente ilustración. ¿De qué sistema se trata?



↑ **Figura 8.100.**

EVALÚA TUS CONOCIMIENTOS

Resuelve en tu cuaderno o bloc de notas

1. El freno de tambor y zapatas fue inventado por:

a. Los hermanos Renault en 1900.

b. El alemán Otto en 1850.

c. Maximiliano Zapata en 1880.

d. Wilhelm Maybach en 1899.

2. Los frenos de disco disponen, entre otros, de los siguientes elementos:

a. Pinza de freno, pastillas y tambores.

b. Pinza de freno, pastillas y disco.

c. Pastillas, discos y bombín.

d. Tambor, pastillas y pinza.

3. ¿Qué misión realizan los bombines en los circuitos de freno?

a. Transforman la presión hidráulica que reciben, en fuerza de empuje en las zapatas.

b. Transforman la fuerza en presión hidráulica.

c. Purgan el circuito de forma automática.

d. Reciben el líquido a presión y potencian el frenado.

4. ¿De dónde recibe la depresión el servofreno?

a. El servofreno no necesita depresión para funcionar.

b. Del compresor que dispone el vehículo.

c. Del colector de admisión en los motores de gasolina y de la bomba de vacío en los Diesel.

d. Del colector de escape y del turbo.

5. ¿Por qué se montan las bombas de freno de dos émbolos o cámaras?

a. Para disponer de dos circuitos independientes y ganar en seguridad.

b. Para aumentar la fuerza de frenado en los discos y aumentar la eficacia.

c. Para compensar la frenada en terrenos deslizantes.

d. Para disminuir la fuerza que se debe realizar sobre el pedal.

6. ¿Qué función realizan los correctores y limitadores de frenada?

a. Evitan el bloqueo de las ruedas del eje delantero cuando el vehículo no está cargado.

b. Limitan la presión de frenada de las ruedas del eje trasero.

c. Controlan la fuerza que se realiza sobre el pedal, disminuyéndola.

d. Limitan la presión de frenada en los ejes delantero y trasero.

7. ¿Son compatibles los líquidos de frenos normales (DOT4) con el líquido LHM?

a. No.

b. Sí.

8. ¿Qué líquido de frenos tiene mejores propiedades?

a. DOT3.

b. DOT4.

c. DOT5.

d. Son iguales los tres.

9. El conmutador de la luz de freno dispone de…

a. Dos terminales.

b. Tres terminales.

c. Un terminal.

d. Puede ser de dos o tres terminales.

10. ¿Qué tipo de servofreno necesita la instalación en el vehículo de un sistema hidráulico de energía?

a. El Mastervac.

b. El Hidrovac.

c. El servofreno hidráulico.

d. Los tres servofrenos anteriores necesitan que el vehículo disponga un sistema hidráulico de energía.

PRÁCTICA **PROFESIONAL**

HERRAMIENTAS

- Elevador
- Llave de ruedas

MATERIAL

- Un vehículo

Identificación de los componentes del freno de servicio

OBJETIVOS

Localizar e identificar los elementos principales que componen el sistema de freno de un vehículo.

PRECAUCIONES

- Situar correctamente el vehículo en el elevador mediante los soportes apropiados.
- Evitar atraparse con ningún elemento del vehículo.

DESARROLLO

Los componentes del freno de servicio se distribuyen por todo el vehículo y están dispuestos de forma similar en los vehículos de las distintas marcas. En el vehículo de la práctica se identifican de la siguiente manera:

1. El pedal de freno se aloja en el habitáculo en la zona del conductor. Va situado en la parte baja a la altura de los pies y centrado entre el pedal de embrague (izquierda) y el pedal de freno (derecha). El pedal de freno incorpora por la parte superior el interruptor de freno (véase figura 8.101).
2. En el habitáculo motor se encuentra la bomba de freno y unida a ella el depósito con el sensor de nivel, las válvulas compensadoras para las ruedas traseras y el servofreno, que en este caso va conectado al colector de admisión (véase figura 8.102). También podemos ver las tuberías de líquido de frenos.
3. Desmontando las ruedas delanteras se observa el sistema de freno del eje delantero. En este caso es un sistema de freno de disco en que podemos identificar el disco, la pinza con el purgador, las pastillas, el latiguillo de freno y el deflector para la refrigeración (véase figura 8.103).
4. Desmontando las ruedas traseras se observa el sistema de freno del eje trasero. En este caso es un sistema de freno de tambor. En este solo se puede apreciar por la parte exterior el tambor y por la parte interior el portafreno, el bombín con el purgador y la tubería de líquido.

↑ **Figura 8.101.** Pedal de freno con interruptor (centro).

↑ **Figura 8.102.** Bomba de freno con depósito y sensor de nivel en el tapón, válvulas compensadoras y servofreno.

↑ **Figura 8.103.** Freno de disco: Pinza con pastillas.

↑ **Figura 8.104.** Freno de tambor: Tambor (exterior) con zapatas de freno y bombín (interior).

Comprobación del testigo de nivel de líquido de frenos

HERRAMIENTAS
- Polímetro
- Lámpara en serie

MATERIAL
- Vehículo con sensor de nivel de líquido de frenos

OBJETIVOS

Comprobar el correcto funcionamiento eléctrico del testigo de nivel de líquido de frenos verificando el testigo y el sensor de nivel.

PRECAUCIONES

- Evitar derramar el líquido de frenos al sacar el sensor de nivel ya que es muy corrosivo y ataca la pintura del vehículo.
- Tener precaución en no realizar ningún cortocircuito.

DESARROLLO

Los principales elementos del circuito son el testigo de nivel situado en el cuadro de instrumentos y el sensor de nivel situado en el depósito.

1. Para comprobar que el testigo de nivel se ilumina, se puede extraer la conexión eléctrica del sensor y hacer un puente entre los terminales de la clema de conexión. Si la lámpara se ilumina indica que esta funciona correctamente y el circuito está en perfectas condiciones (véase figura 8.106). En caso de no iluminarse puede ser que exista una avería eléctrica en el circuito o que la lámpara se encuentre fundida.
2. Con la lámpara en serie conectamos por un lado al positivo de batería y por el otro a la conexión de masa del conector, si la lámpara se ilumina indica que el conector recibe correctamente masa (véase figura 8.107).

↑ **Figura 8.105.** Extracción de la conexión eléctrica.

↑ **Figura 8.106.** Testigo iluminado.

↑ **Figura 8.107.** Comprobación del cable de masa.

3. Comprobar con el polímetro con la conexión desconectada si existe continuidad o resistencia entre los contactos. Si es así, puede ser que el depósito esté sin líquido o que el sensor esté averiado (véase figura 8.108).
4. Desmontar el tapón del depósito con el sensor y con el polímetro comprobar si hay continuidad con la boya completamente bajada. Si hay continuidad el sensor funciona correctamente (véase figura 8.110).

↑ **Figura 8.108.** Comprobación de la continuidad (no hay continuidad).

↑ **Figura 8.109.** Desmontaje del tapón con el sensor.

↑ **Figura 8.110.** Comprobación del sensor (hay continuidad).

PRÁCTICA **PROFESIONAL**

HERRAMIENTAS

- Jeringa de plástico
- Llave de rácores
- Juego de llaves de carraca

MATERIAL

- Automóvil
- Líquido de frenos
- Recipiente para el líquido
- Guantes desechables

Desmontaje de una bomba de freno

OBJETIVOS

Realizar el desmontaje una bomba de freno dañada para su posterior reparación.

PRECAUCIONES

- El líquido de frenos es muy corrosivo y ataca la pintura del vehículo.
- Siempre que sea posible utilizar guantes.
- El líquido se debe recoger en un recipiente para su recuperación.

DESARROLLO

La bomba dañada se puede reparar en el taller con un kit de juntas nuevo. Lo primero que se debe hacer es extraerla del vehículo, para ello, seguimos este proceso:

1. Extraer el líquido de frenos que contiene el depósito. Esto se puede realizar con una jeringa de plástico aspirando el líquido del interior.
2. Aflojar con la llave de rácores las canalizaciones (véase la figura 8.111).
3. Con todas las canalizaciones sueltas (véase la figura 8.112), soltar los tornillos de fijación de la bomba con el servofreno (véase la figura 8.113).

↑ **Figura 8.111.** Aflojar los rácores de conexión.

↑ **Figura 8.112.** Rácores sueltos.

4. Evitar no derramar el líquido de frenos que contiene el interior de la bomba y separarla del conjunto del servofreno (véase la figura 8.114).

↑ **Figura 8.113.** Tornillos de unión con el servo.

↑ **Figura 8.114.** Extraer la bomba.

Sustitución de un latiguillo de freno

HERRAMIENTAS
- Llave de rácores
- Calibre

MATERIAL
- Automóvil
- Líquido de frenos
- Recipiente para el líquido
- Guantes desechables

OBJETIVOS

Realizar la sustitución de un latiguillo de freno dañado.

PRECAUCIONES

- El líquido de frenos es muy corrosivo y ataca la pintura del vehículo
- Siempre que sea posible utilizar guantes.
- El líquido se debe recoger en un recipiente para su recuperación.

DESARROLLO

El proceso para realizar la sustitución de un latiguillo de freno es el siguiente:

1. Con una llave de rácores aflojar la tuerca de fijación del latiguillo (véase la figura 8.115). Al extraer la conexión del latiguillo verter el líquido de frenos en un recipiente (véase la figura 8.116).
2. De igual manera, con la llave de rácores soltar el latiguillo por el otro extremo (véase la figura 8.117).

↑ **Figura 8.115.** Aflojar la tuerca de fijación del latiguillo.

↑ **Figura 8.116.** Verter el líquido restante.

↑ **Figura 8.117.** Aflojar el extremo opuesto del latiguillo.

3. Con el latiguillo fuera, analizar el tipo de rosca que utiliza para montar un latiguillo nuevo similar (véase la figura 8.118).
4. Montar el nuevo latiguillo de forma inversa a su desmontaje teniendo en cuenta posicionar correctamente el sistema de fijación.
5. Verter en el depósito líquido de frenos nuevo de las mismas especificaciones que el anterior y proceder a realizar el purgado manual del circuito por medio del purgador de la pinza (véase la figura 8.119).
6. Una vez purgado el circuito, dejar el nivel de líquido entre las marcas de máximo y mínimo del depósito (véase la figura 8.120).

↑ **Figura 8.118.** Analizar el tipo de rosca del latiguillo.

↑ **Figura 8.119.** Purgado manual del circuito.

↑ **Figura 8.120.** Verter líquido de frenos al depósito.

MUNDO **TÉCNICO**

Frenos cerámicos

Los frenos cerámicos de Audi ofrecen una elevada prestación de frenada, larga duración y apariencia deportiva

La prestación de frenada no disminuye ni tan siquiera tras frenadas reiteradas, por ejemplo descendiendo un puerto de montaña. Su resistencia al *fading* (el notable deterioro en el rendimiento tras frenar repetidamente) es muy superior al de otros tipos de frenos.

Las masas rotatorias no suspendidas se reducen en aproximadamente 20 kilogramos o un 50 por ciento en comparación con los discos de freno convencionales, lo cual resulta en un manejo y una agilidad sensiblemente mejores.

La elevada resistencia a la abrasión de los discos cerámicos les permite resistir hasta 300.000 kilómetros. Su dureza superficial extrema también significa que los discos de freno son resistentes a las sales de calzada sólidas y líquidas, así como a la corrosión y la oxidación.

Los discos de freno cerámicos Audi están realizados en una cerámica reforzada con fibra de carbono. La materia prima utilizada para crear este compuesto, conocido como composite cerámico, es el carburo de silicio, extremadamente duro y resistente a la abrasión. En este están integradas fibras de carbono altamente resistentes, las cuales absorben eficazmente las tensiones que se producen en el material.

En condiciones extremas como altas temperaturas o humedad, el composite cerámico garantiza un coeficiente de fricción estable. Aunque un disco de freno cerámico absorbe el calor más rápidamente que un disco de freno de acero, también es capaz de dispersarlo con mucha más rapidez. De esta forma, se garantiza un rendimiento de los frenos sistemáticamente más alto.

Fuente: <www.audi.es>

↑ **Figura 8.121.** Disco de freno cerámico y pinza.

EN **RESUMEN**

ELEMENTOS Y PIEZAS DEL SISTEMA DE FRENO	Conjunto de elementos mecánicos e hidráulicos que permiten al conductor detener el vehículo, frenarlo
Pedal y bomba	Elemento que genera la presión en el circuito
Servofreno	Dispositivo de ayuda para realizar menor fuerza sobre el pedal
Canalización: rígida o flexible	Transporta y conduce el líquido de la bomba hasta los émbolos o bombines
Corrector de frenada	Limita la presión sobre el eje trasero evitando el bloqueo de las ruedas traseras
Bombín	Transforma la presión en fuerza de empuje en las zapatas
Pinza	Transforma la presión en fuerza de empuje sobre las pastillas
Zapatas y pastillas	Las zapatas realizan la fricción contra los tambores y las pastillas contra los discos
Discos y tambores	
Líquido de frenos	Elemento básico del circuito que transmite la presión, evita la corrosión y protege las gomas de estanqueidad
Luz de frenos	Indica que se está haciendo uso del freno de servicio
Testigos luminosos	• Testigo de nivel del líquido de frenos • Testigo de desgaste de las pastillas de freno • Testigo de accionamiento del freno de estacionamiento

entra en internet

1. Localiza mediante internet los componentes del sistema de freno que montan distintos vehículos.

   Puedes encontrar información en las siguientes páginas:

   - <www.renault.es>
   - <www.peugeot.es>
   - <www.audi.es>
   - <www.opel.es>

9 Mantenimiento de los frenos en vehículos ligeros

vamos a conocer...

1. Especificaciones técnicas de los sistemas de freno

2. Diagnóstico y mantenimiento del sistema de freno de un automóvil

3. Cuadro de diagnóstico de averías

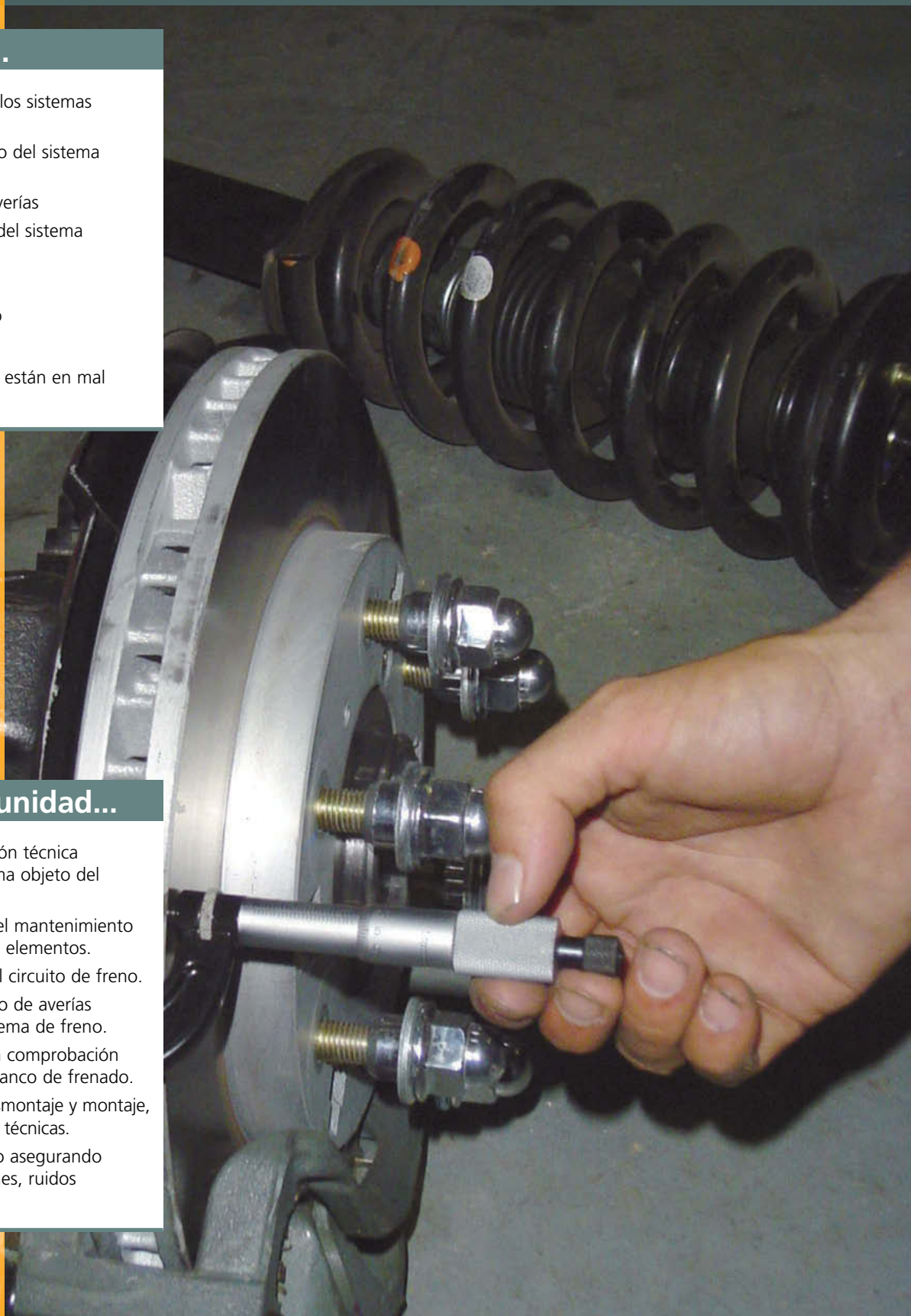
4. Frenómetro, comprobación del sistema de freno

PRÁCTICA **PROFESIONAL**

Cambio de pastillas de freno

MUNDO **TÉCNICO**

¿Sabes detectar si los frenos están en mal estado?



y al finalizar esta unidad...

- Interpretarás la documentación técnica y la relacionarás con el sistema objeto del mantenimiento.
- Aprenderás cómo se realiza el mantenimiento del circuito de freno y de sus elementos.
- Verificarás la estanquidad del circuito de freno.
- Podrás realizar un diagnóstico de averías conociendo los fallos del sistema de freno.
- Conocerás cómo se realiza la comprobación del sistema de freno en un banco de frenado.
- Realizarás operaciones de desmontaje y montaje, siguiendo las especificaciones técnicas.
- Repararás el sistema de freno asegurando la total ausencia de vibraciones, ruidos y deslizamientos anómalos.

CASO **PRÁCTICO** INICIAL

situación de partida

Fernando va a realizar la inspección técnica del su vehículo a la ITV. El vehículo es un Opel Astra 1.7 turbo diésel con 150.000 kilómetros y tiene una antigüedad de diez años.

En las inspecciones realizadas en años anteriores el vehículo no ha tenido nunca ningún defecto grave. En la última inspección se le diagnosticó una avería en la luz de freno derecha que se solucionó sustituyendo la lámpara por una nueva.

Al realizar la prueba de frenado en el frenómetro de rodillos de la ITV, el técnico ha detectado una descompensación elevada entre las ruedas del eje trasero.

Al inspeccionar el técnico de la ITV el vehículo en el foso, observa que existe una pérdida de líquido en el tambor de freno trasero izquierdo, lo que puede ser causante de la descompensación marcada en el frenómetro.

El técnico, tras revisar el vehículo completamente, no detecta ningún otro defecto grave.

Finalmente, el técnico le entrega a Fernando el parte en el que aparece como defecto grave la descompensación del eje trasero y le comenta que cuando repare el defecto, se vuelva acercar por la ITV para volver a revisar la frenada del eje trasero, y si está correcta, dar como favorable la revisión.

↑ Vehículo realizando la ITV.

estudio del caso

Antes de empezar a leer esta unidad de trabajo, puedes contestar las dos primeras preguntas. Después, analiza cada punto del tema, con el objetivo de contestar al resto de las preguntas de este caso práctico.

1. ¿Con qué equipo se analiza la frenada de un vehículo?
2. ¿Es necesario revisar el vehículo en la ITV cada año? Razona tu respuesta.
3. ¿Dónde se puede detectar también la pérdida de líquido de frenos?
4. Una vez desmontado el tambor de freno en el taller, ¿qué elemento es el que pierde líquido de frenos?
5. ¿Qué elemento del bombín de freno puede haberse deteriorado para ocasionar la pérdida de líquido?
6. Tras reparar el bombín de freno y montarlo en el vehículo, ¿es necesario sustituir también las zapatas de freno?
7. Cuando el técnico hace la prueba de frenado con el freno de estacionamiento, ¿obtiene también descompensación entre las ruedas del eje trasero?

1. Especificaciones técnicas de los sistemas de freno

Para determinar el estado del sistema de freno, además de conocer los componentes que integra y su funcionamiento, es necesario conocer sus especificaciones técnicas.

Las especificaciones técnicas nos indican las características y datos de los componentes del sistema de freno: tipo, medidas, etc.

Los principales componentes del sistema de freno de un automóvil son: el pedal de freno y el interruptor de frenado, la bomba, el depósito con el sensor de nivel, el servofreno, las canalizaciones, el corrector de frenada y el conjunto de freno de disco o de tambor. En los vehículos actuales se incorporan otros elementos de seguridad activa como el sistema antibloqueo de freno, los asistentes de ayuda de frenada, etc.

Los fabricantes de vehículos proporcionan, a través de los manuales de reparación, todos los datos necesarios para la verificación y comprobación del sistema de freno y de sus elementos. En la siguiente tabla podemos estudiar las especificaciones de un sistema de freno de un vehículo modelo Chevrolet Nubira 2010:

Aplicación	Milímetros	Pulgadas
Especificaciones generales motor 1.4/1.6/1.8/2.0 DOHC		
Tambores de freno:		
Diámetro interior.	200,00	7,87
Diámetro máximo de rectificado.	201,00	7,91
Falta de redondez.	0,04	0,0016
Discos de freno delanteros:		
Espesor de descarte.	22,00	0,87
Excentricidad lateral (instalada).	0,06	0,002
Diámetro del disco.	256	10,07
Espesor del disco (nuevo).	24,00	0,95
Variación de espesor.	0,01	0,0004
Discos de freno traseros:		
Espesor de descarte.	8	0,31
Excentricidad lateral (instalada).	0,08	0,003
Diámetro del disco.	258	10,15
Espesor del disco (nuevo).	10,4	0,40
Variación de espesor.	0,01	0,0004
Cilindro maestro:		
Diámetro interior del alojamiento (nominal).	22,22	0,875
Diámetro interior del alojamiento (máximo).	22,29	0,878
Pinza:		
Diámetro mínimo del pistón (delantero).	54,00	2,126
Diámetro mínimo del pistón (trasero).	32	1,260
Diámetro del cilindro de rueda:		
Máximo.	20,7	0,815
Nomina.	20,64	0,812

↑ **Tabla 9.1.** Especificaciones generales del sistema de freno de un Chevrolet Nubira 2010.

Los fabricantes también detallan, en los manuales de reparación, los pares de apriete de los principales elementos del sistema de freno. Los valores de apriete se suelen indicar en N · m o en kgf · m. A continuación vemos una tabla ejemplo de valores de apriete del mismo modelo de la tabla anterior.

Aplicación	N · m
Especificaciones para la fijación de las sujeciones	
Tuberías de freno.	16
Tuerca hexagonal para fijar el pedal del freno al soporte del pedal.	18
Tornillo de fijación del manguito del freno de disco delantero a la pinza de freno.	40
Tornillo para fijar el manguito del freno de disco trasero a la pinza de freno.	32
Especificaciones para la fijación del cilindro principal	
Conductos de freno.	16
Tuercas de fijación del cilindro principal.	18
Válvulas equilibradoras.	22
Especificaciones para la fijación del servofreno	
Tuerca de unión del servofreno y el salpicadero (vehículos con volante a la izquierda).	22
Tuerca hexagonal del servofreno y horquilla de barra de presión.	18
Acoplamientos de conducto de freno.	16
Especificaciones para la fijación del disco delantero	
Tornillo de fijación del racor de entrada del manguito de freno a la pinza.	40
Válvula de purga de la pinza del freno.	8
Tornillos de fijación de la pinza del freno a la mangueta.	95
Tornillos de fijación del bastidor de retención a la pinza del freno.	27
Tornillo de fijación del disco de freno al cubo de la rueda delantera.	4
Tornillos de la placa guardabarros a la mangueta.	4
Especificaciones para la fijación del tambor trasero	
Tubería de freno.	16
Tuercas del cubo de rueda/portafreno al eje trasero.	28
Tornillo del portafreno al cilindro de rueda.	8
Especificaciones para la fijación del freno de estacionamiento	
Tornillos de unión del cable de freno de estacionamiento y el soporte lateral de los bajos del chasis.	6
Tornillos de unión del conjunto de la palanca de freno de estacionamiento y los bajos del chasis.	22
Tornillo de unión del interruptor y la palanca del freno de estacionamiento.	4
Tornillo de retención del tambor de freno trasero.	4

↑ **Tabla 9.2.** Especificaciones de apriete de los principales elementos del sistema de freno.

2. Diagnóstico y mantenimiento del sistema de freno de un automóvil

saber más

Las averías más importantes que se producen son las relacionadas con la falta de hermeticidad, oxidación, pérdidas de líquido, roturas, etc.

Para un diagnostico adecuado del sistema de freno es necesario tomar el máximo de datos posibles y contrarrestarlos con los datos del manual de reparaciones del fabricante. Estos datos pueden provenir de las explicaciones del conductor del vehículo, el cual guiará al técnico para la diagnosis del sistema, o de las pruebas realizadas en el vehículo.

El mantenimiento consiste en verificar que el sistema de freno funciona correctamente y en sustituir los elementos dañados o desgastados antes de que se rompan y puedan producir una avería.

2.1. Prueba del sistema de freno

El sistema de freno del vehículo debe probarse en una carretera seca, limpia, razonablemente lisa y nivelada. Si la carretera está húmeda, grasienta o cubierta de suciedad, los neumáticos no tienen igual agarre y los resultados son erróneos. Tampoco se puede realizar la prueba sobre una carretera muy bacheada.

Se comprobarán los frenos a velocidades diferentes del vehículo, con presiones fuertes y ligeras sobre el pedal evitando el bloqueo de los frenos y el patinaje de las ruedas. Unos frenos bloqueados y unas ruedas que patinan no sirven para indicar la eficacia de los frenos, ya que un frenazo brusco pero con las ruedas girando servirá para detener el vehículo en una distancia menor que con los frenos bloqueados.

Las condiciones externas que afectan al rendimiento de los frenos son:

- Los neumáticos con un contacto y un agarre desigual a la carretera provocarán una frenada desigual. Los neumáticos deben inflarse a la misma presión y el dibujo de la banda de rodadura de los neumáticos izquierdos y derechos debe ser aproximadamente el mismo.
- Una carga desigualmente repartida puede afectar al rendimiento de los frenos, ya que las ruedas que soportan una mayor carga requerirán mayor potencia de frenada y, por tanto, un esfuerzo mayor que las otras.
- La desalineación de las ruedas, en particular aquellas condiciones provocadas por unos ángulos de avance y caída excesivos, hará que los frenos tiren hacia un lado.

→ **Figura 9.1.** Prueba de frenado en carretera.

2.2. Comprobación de fugas

La comprobación de las fugas de líquido de frenos debe realizarse manteniendo una presión constante sobre el pedal, con el motor funcionando a ralentí y la palanca del cambio en posición de punto muerto. Si el pedal sigue bajando con la presión constante, puede que haya una fuga en el sistema de freno. En este caso se efectuará una comprobación visual para confirmar cualquier sospecha de fuga.

Comprobando el nivel del líquido en el depósito de la bomba o cilindro maestro se analiza lo siguiente:

- Un ligero descenso en el nivel del depósito es una consecuencia del desgaste normal de las pastillas o zapatas.
- Un nivel anormalmente bajo puede indicar la existencia de una fuga en el circuito hidráulico. Las fugas del circuito hidráulico pueden ser internas o externas. Cuando la fuga es interna, se comunica el circuito primario y secundario de la bomba (bomba tándem) no existiendo disminución de líquido del depósito. Si la fuga es externa el líquido sale al exterior y desciende el nivel de líquido del depósito.

caso práctico inicial

La pérdida de líquido de frenos del vehículo se puede detectar por la bajada anormal del nivel de líquido de frenos en el depósito.

↑ **Figura 9.2.** Depósito de líquido de frenos. Nivel máximo (MAX) y mínimo (MIN).

2.3. Comprobación de las canalizaciones

Las canalizaciones del sistema de freno hidráulico deben comprobarse al menos dos veces al año.

- En las tuberías se debe observar si presentan golpes o deformaciones, en cuyo caso se deben sustituir. No se permite realizar soldaduras en ellas, ni enderezarlas o curvarlas.
- En cuanto a los latiguillos, se deben sustituir cuando presenten fisuras, ampollas, grietas, etc. o cuando los émbolos de las pinzas de freno vuelvan con dificultad. También se comprobará el recorrido y sujeción correcta. Un latiguillo de freno que roce con un componente de la suspensión se desgastará y acabará deteriorándose.

↑ **Figura 9.3.** Fuga de líquido de frenos por la unión entre una tubería y un latiguillo de freno.

2.4. Comprobación del líquido de frenos

Si el líquido de frenos está defectuoso puede provocar el deterioro de los componentes de goma del circuito. El líquido de frenos es de color cristalino. En caso de no ser así puede existir un problema evidente:

- Si el color del líquido es negro, posiblemente existe un desgaste en los retenes y los guardapolvos de la pinza o bombín con lo que se deberá proceder a su sustitución.
- En caso de ser gris, es posible que sea debido a un desgaste en la bomba de freno o en los cilindros. Esto obliga a que deban ser reemplazados.

El agua dentro del circuito de freno oxida los cilindros, los émbolos y las canalizaciones. Por ello, conviene sustituir el líquido de frenos cada dos o tres años, sobre todo en vehículos que empleen líquido de éteres de glicol, ya que es higroscópico y absorbe agua.

Si el deterioro del líquido de frenos es evidente, se deben desmontar todas las piezas del sistema hidráulico, limpiar y secar. Finalmente se sustituirán todas las piezas de goma del sistema, incluyendo los manguitos.

saber más

Los líquidos de frenos compuestos por éteres de glicol cumplen los requisitos DOT. Estos líquidos son los más empleados en los automóviles y no son compatibles con líquidos LHM.

↑ **Figura 9.4.** Comprobación del color del líquido de frenos.

Sustitución y purgado del líquido de frenos

La sustitución del líquido de frenos se puede realizar manualmente o con ayuda de equipos diseñados para este fin. Los equipos de purgado más empleados son: los equipos que emplean presión en el depósito de la bomba y los equipos que emplean depresión. Esta operación se realiza a través de los purgadores de las pinzas y bombines (véase figura 9.5).

El equipo de purgado y sustitución del líquido por depresión es más económico y menos sofisticado. Este equipo funciona gracias a la presión de aire comprimido de la red del taller creando una depresión en un recipiente que succiona el líquido viejo. Previamente y con el fin de que no entre aire en el circuito, se debe rellenar con líquido nuevo el depósito manteniendo el nivel.

↑ **Figura 9.5.** Bombín y purgador de freno.

Purgado con equipos de presión

El funcionamiento de estos equipos se basa en aplicar líquido nuevo a presión por el depósito. El líquido usado saldrá por el purgador tras su apertura por el operario. Desde el purgador se conecta un tubo de goma transparente, el cual comunica con un recipiente que recoge el líquido usado.

El equipo está diseñado para no sobrepasar unas presiones máximas de funcionamiento, que pueden provocar que el líquido se emulsione con el aire. La presión de trabajo será baja y dependerá del equipo a utilizar.

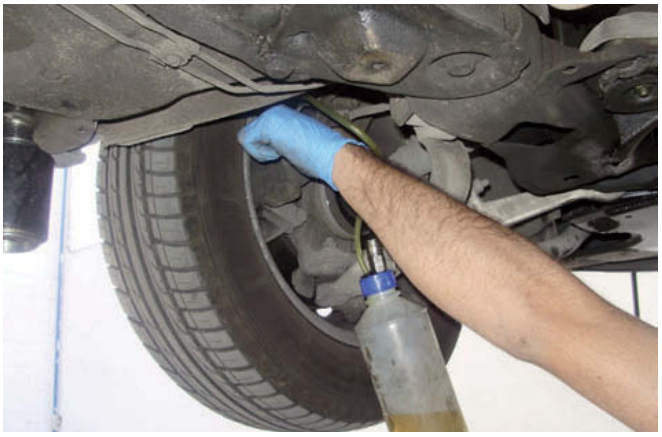
Para confirmar que el líquido se ha sustituido en su totalidad del circuito y de la tubería, se ha de comprobar que el líquido que sale por el tubo de goma transparente está limpio. Una vez realizado el purgado en una pinza, debe cerrarse el purgador y realizar el purgado de otra, abriendo su purgador, y así sucesivamente hasta completar el circuito.

↑ **Figura 9.6.** Equipo de purgado por presión.

↑ **Figura 9.7.** Montaje del tapón del equipo en el depósito de líquido del vehículo.

↑ **Figura 9.8.** Conexión con la manguera de aire a presión del taller.

↑ **Figura 9.9.** Apertura de la llave de paso del equipo. Entrada de líquido a presión al circuito del vehículo.

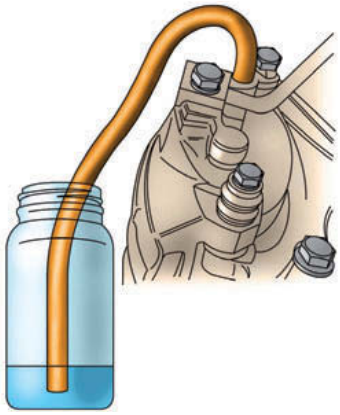


↑ **Figura 9.10.** Purgado de cada una de las ruedas y recogida de líquido en el recipiente.

Purgado manual

El purgado manual se debe realizar por dos operarios: uno dentro del vehículo, que bombeará el pedal de freno, y otro fuera del vehículo, que abrirá y cerrará los purgadores.

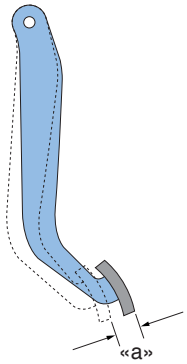
Antes de purgar el circuito, es importante bombear varias veces el pedal de freno para consumir el vacío del servofreno y tomar pedal de freno.



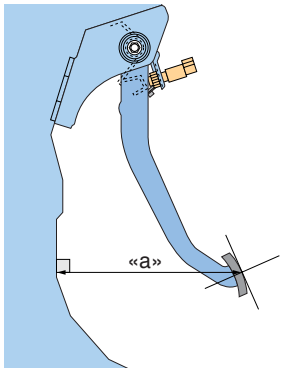
↑ **Figura 9.11.** Recipiente para el purgado de los frenos.

saber más

En los vehículos que dispongan de circuitos de frenos independientes con repartidor en el eje trasero, la purga debe efectuarse con equipos a presión en un orden específico: trasero derecho, trasero izquierdo, delantero derecho y delantero izquierdo. Ejemplo: BMV 320 D.



↑ **Figura 9.12.** Juego del pedal.



↑ **Figura 9.13.** Altura libre del pedal.

En la salida de los purgadores, se conectará un tubo flexible transparente que se comunicará con un recipiente para recoger el líquido usado (figura 9.11).

El purgado se realiza en dos fases:

- En la primera fase, el operario del interior del vehículo debe bombear el pedal de freno varias veces hasta que este adquiera dureza. Con el pedal pisado, el otro operario, desde el exterior, abrirá el purgador de una de las ruedas, dejando salir hasta el recipiente recolector el líquido viejo, y el aire, si lo tuviese. Durante esta etapa, el pedal se hunde hasta el fondo por la fuerza del operario, y no se suelta hasta que se cierra el purgador.
- En la segunda, con el purgador cerrado, se suelta el pedal y la bomba toma líquido del depósito.

Tras esto, se vuelve a bombear el pedal de freno hasta que el pedal toma presión. Con el pedal presionado y sin llegar a fondo, se vuelve abrir nuevamente el purgador: el líquido sale nuevamente hasta el recipiente recolector con las posibles burbujas de aire que el circuito tuviera. Este proceso se repite hasta que sale el líquido nuevo y sin burbujas por cada uno de los purgadores.

Se debe prestar especial atención en mantener el depósito de líquido con un nivel adecuado durante la operación, rellenando con líquido nuevo para evitar que entre aire en el circuito.

En los vehículos con limitador de frenada en el eje trasero, se debe tener en cuenta no dejar libres las ruedas traseras durante el purgado. En caso de utilizar un elevador que deje las ruedas del vehículo suspendidas, se puede anular el funcionamiento del limitador para permitir que el líquido circule correctamente. La anulación del limitador se puede realizar desplazando la palanca de mando del limitador, simulando que el vehículo se encuentra cargado.

2.5. Diagnóstico del pedal de freno

Para observar el correcto funcionamiento del pedal de freno se presionará y soltará varias veces. El comportamiento correcto de un pedal ha de ser suave, volviendo a la posición inicial rápidamente, sin ruidos ni fricciones de ningún tipo.

Comprobaremos que el pedal no está duro, blando o esponjoso, para ello, lo pisaremos progresivamente con fuerza hasta comprobar su resistencia.

El pedal de freno debe tener un pequeño juego *(a)* (figura 9.12). Si fuera necesario realizar un ajuste, se realizará según indique el fabricante en el manual de reparación.

De igual manera, se debe comprobar la altura libre del pedal de freno.

- Si la altura no es la correcta, y el sistema tiene regulación, se actuará sobre el sistema de regulación hasta dejar las cotas que indique el fabricante.
- Si el sistema no tiene regulación, habrá que verificar si hay algún elemento defectuoso, eje, pedal, etc. o algún elemento está mal montado.

Se comprobará también el perno del eje del pedal y la instalación del pasador del cilindro maestro por si estuvieran flojos. Si estuvieran defectuosos se deben reemplazar.

También se comprobara cuando se pisa el pedal de freno el funcionamiento de las luces de freno. En caso necesario se ajustará según indique el fabricante.

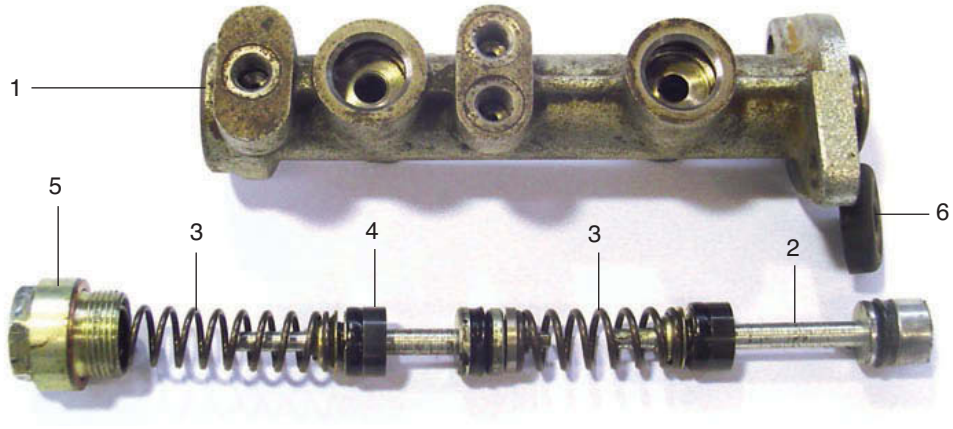
2.6. Diagnóstico de la bomba de freno

El circuito funciona gracias a la presión que genera la bomba, la cual dispone de unos retenes que garantizan su hermeticidad. Cuando los retenes no se encuentran en perfecto estado, la bomba no genera la presión suficiente en el circuito y el pedal de freno se hunde más de lo normal. En este caso, se deben sustituir los retenes por otros de iguales características, o cambiar la bomba por una nueva.

En caso de sustitución de los retenes, hay que desmontar y limpiar todos los componentes y sustituir todas las piezas de goma. Así mismo, se deben limpiar todos los tubos de conexión.

También se comprobará si existen grietas en la carcasa que puedan ocasionar fugas o si existen fugas por el retén exterior de la misma.

↑ **Figura 9.14.** Bomba de freno nueva.



1. Cuerpo de la bomba
2. Émbolo
3. Muelles de recuperación
4. Retenes
5. Tapón para el despiece
6. Retén

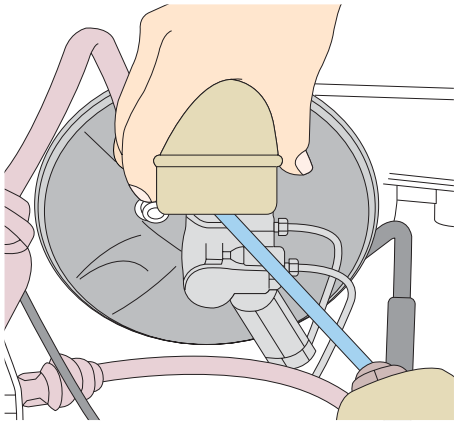
↑ **Figura 9.15.** Despiece de una bomba de doble émbolo.

Se debe comprobar también la estanqueidad del depósito de líquido de frenos.

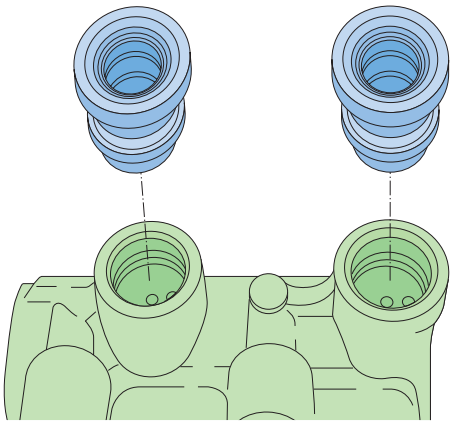
- En caso de pérdida de fluido por la unión con la bomba, se desmontará este y se sustituirán las gomas de estanqueidad.
- Si la pérdida de líquido es por el propio envase se sustituirá este por uno nuevo. Cuando se sustituya el depósito por uno nuevo, además de limpiar y secar perfectamente todos los elementos, también se instalarán gomas de estanqueidad nuevas.

saber más

Para sustituir los retenes de goma de los elementos hidráulicos, es necesario bañarlos con líquido de frenos antes del montaje.



↑ **Figura 9.16.** Desmontaje del depósito de líquido de frenos.



↑ **Figura 9.17.** Extracción de las gomas de estanqueidad.

2.7. Comprobación del servofreno

Con el motor parado, se eliminará el vacío o la presión del servofreno (según casos) bombeando varias veces el pedal del freno. Después se pisará el pedal de freno y se mantendrá en esa posición. Por último se arrancará el motor.

- Si el servofreno funciona correctamente, el pedal de freno baja un poco a causa de la fuerza adicional producida.
- Si el pedal de freno no baja, es probable que el sistema de vacío (mangueras de vacío, válvula de retención, etc.) esté defectuoso y deberá ser comprobado.

Si no se descubre fallo alguno en la inspección del sistema de vacío o de presión (según casos), este se encuentra en el propio servofreno.

2.8. Comprobación del freno de disco

Inspección de la pinza o mordaza

↑ **Figura 9.18.** Kit de reparación de la pinza de freno.

Es necesario comprobar en la pinza o mordaza de freno, si existe fuga de líquido de frenos.

En el caso de existir una fuga de líquido habrá que determinar su origen.

- Si la fuga es debida al deterioro del retén interior, se puede montar un kit de reparación que suele constar de un retén interior y un guardapolvo.
- En el caso de que la fuga sea debida a la existencia de rayas en el émbolo o al desgaste excesivo del cilindro de la pinza, se deberá proceder a sustituir la pinza por una nueva.

En algunos casos la pérdida de líquido se produce por el sangrador o purgador del líquido de freno.

- Si el purgador se encuentra dañado se sustituirá por uno nuevo.
- En el caso de que la pérdida sea por un defecto en la rosca se reparará esta y se instalará un purgador con una rosca mayor o se sustituirá la pinza por una nueva.

También se puede producir la pérdida de líquido de frenos por la rosca de la canalización de entrada de líquido de frenos. En este caso se comprobarán las roscas de ambos elementos y se sustituirá la canalización o se reparará la rosca de la pinza.

recuerda

Lubricar las piezas de goma con líquido de frenos limpio para facilitar el montaje.

↑ **Figura 9.19.** Montaje del retén nuevo.

↑ **Figura 9.20.** Montaje del émbolo de la pinza.

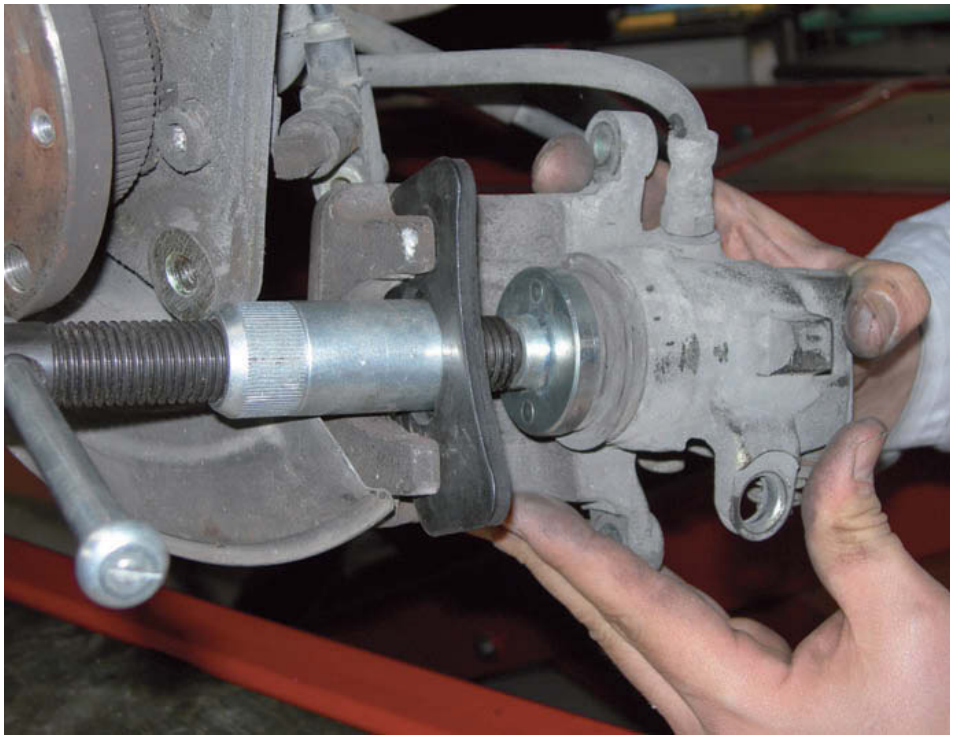
Inspección de las pastillas de freno

Las pastillas de freno deben desgastarse por igual en toda su superficie. En su comprobación, es preciso desmontarlas de las pinzas, limpiar sus anclajes de restos de ferodo gastado y de oxidación. Después de realizar su medición y comprobación, si se encuentran en buen estado se podrán montar nuevamente. El espesor mínimo de la pastilla «a» no será inferior al determinado por el fabricante (véase figura 9.21).

Muchos modelos disponen de testigo indicador del desgaste de la pastilla. Cuando la pastilla se desgasta, el testigo de freno hace masa en el disco de freno y enciende una lámpara indicadora en el cuadro de instrumentos (véase figura 9.23).

Las pastillas se cambian en conjunto, las cuatro del mismo eje. Un desgaste irregular de una pastilla indica una anomalía en la pinza de freno, ya sea porque esta no se desliza correctamente o porque alguno de sus émbolos se encuentre agarrotado.

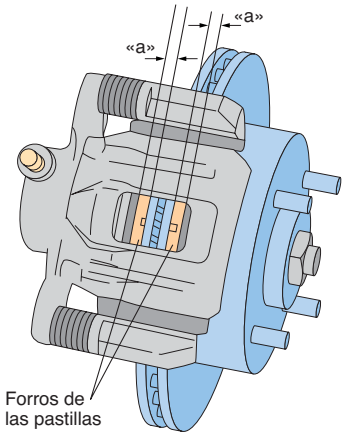
El desgaste de las pastillas produce que el circuito necesite más líquido de frenos, y como consecuencia desciende el nivel del depósito. Cuando se cambian las pastillas usadas por otras nuevas, es necesario hacer retroceder el émbolo de la pinza, con un gato o mordaza para conseguir un espacio suficiente que permita introducir las pastillas nuevas de mayor espesor. Al retroceder el émbolo, el líquido de frenos regresa al depósito, con lo que mantiene así su nivel.



↑ **Figura 9.24.** Retroceso de los émbolos en un bombín.

Si la pinza de freno dispone de freno de mano, el mecanismo de accionamiento del émbolo se debe girar a la vez que se empuja. Para ello, los fabricantes disponen de útiles específicos para cada tipo de pinza y de émbolo (véase figura 9.25).

Una vez montadas las pastillas y la pinza, se comprueba que pisando el pedal de freno las pastillas se desplazan contra el disco frenándolo. Al soltar el pedal, las pastillas se separan del disco, permitiendo que este gire libremente.



↑ **Figura 9.21.** Espesor de las pastillas de freno.

↑ **Figura 9.22.** Pastilla de freno desgastada.

↑ **Figura 9.23.** Pastilla de freno nueva con testigo de desgaste.

↑ **Figura 9.25.** Útil para el retroceso de los émbolos en pinzas con freno de mano.

Inspección del disco de freno

↑ **Figura 9.26.** Verificación del espesor del disco con un micrómetro.

El disco de freno se comprueba midiendo su desgaste y verificando su estado. Durante su fabricación, se mantienen de forma muy estricta las tolerancias de la superficie de frenado en cuanto a variación de espesor, planitud y excentricidad lateral. Por tanto, es necesario mantener estas tolerancias en dicha superficie para evitar frenadas irregulares.

La disminución del espesor del disco de freno se puede comprobar midiendo este en cuatro o más puntos alrededor de la circunferencia del mismo y a la misma distancia de su borde (véase figura 9.26).

Un disco que disminuye más de 0,01 mm (0,0004 pulgadas) puede provocar pulsaciones en el pedal y/o vibraciones en las ruedas durante la aplicación del freno. El disco de freno que no cumpla las especificaciones del fabricante debe rectificarse o sustituirse.

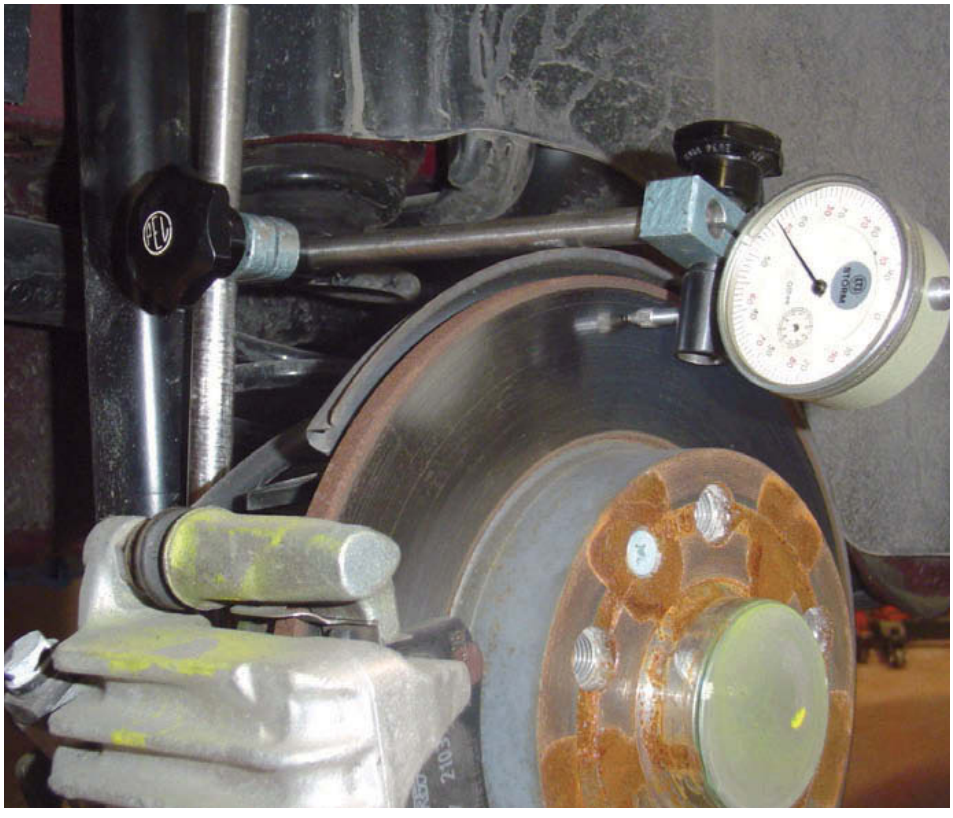
↑ **Figura 9.27.** Grietas en el disco.

En cuanto a su estado, el disco no debe presentar síntomas de haber sufrido un exceso de temperatura, grietas (véase figura 9.27), surcos o ralladuras. Si esto es así, el disco deberá ser sustituido.

El alabeo en un disco de freno produce vibraciones al frenar. Es muy importante medirlo correctamente y sustituir los discos y las pastillas cuando se sobrepase la medida de alabeo máximo.

El alabeo se mide con un reloj comparador que se sujeta sobre una parte fija de la mangueta. El palpador del reloj se aproxima sobre la superficie plana del disco, en la zona de ataque de las pastillas.

Se hace girar el disco 360° y se anotan las desviaciones máximas de la aguja del reloj comparador.



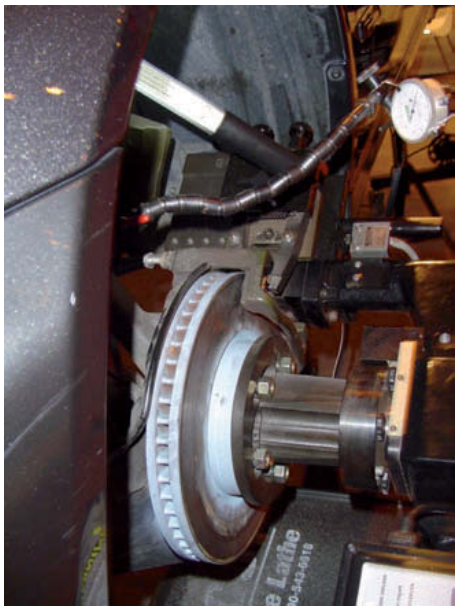
↑ **Figura 9.28.** Verificación del alabeo del disco con reloj comparador.

Rectificado de discos de freno

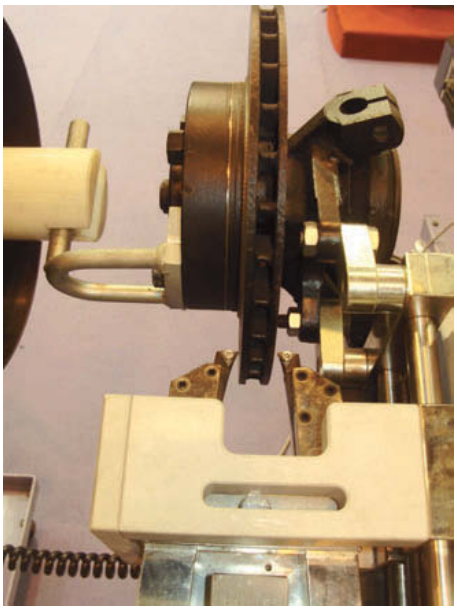
En algunos casos, los discos de freno se pueden rectificar con el fin de conseguir la planitud adecuada. Para ello, se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Nunca se deben rectificar los discos a menos que el torno con el que se cuente tenga la precisión necesaria.
- Nunca se debe sobrepasar el mínimo espesor recomendado por el fabricante.
- No se debe de rectificar discos en tornos, cuya precisión, rigidez de bancada, etc. no sea la requerida para dejar un acabado superficial bueno.

El rectificado de los discos de freno se puede realizar mediante equipos portátiles que se instalan sobre el vehículo con el disco montado o en máquinas rectificadoras.



↑ **Figura 9.29.** Rectificadora de discos de freno sobre el propio vehículo.



↑ **Figura 9.30.** Rectificadora de discos de freno.

2.9. Comprobación del freno de tambor

Inspección del tambor de freno

Con el tambor de freno desmontado, se debe comprobar que no existen, rallados fisuras o grietas que pudieran aparecer tras el uso. En el caso de existir, con el fin de evitar la rotura durante su funcionamiento, se debe sustituir el tambor por uno nuevo.

Se comprobará el desgaste de la superficie de fricción. En el caso de que el diámetro (véase figura 9.31) sea superior al permitido por el fabricante se sustituirá el disco por uno nuevo.

También se comprobará que la redondez del tambor no está más allá del límite especificado. Un tambor ovalado imposibilita el ajuste de la zapata del freno y ocasiona un desgaste excesivo de las piezas del mecanismo del freno. Además provoca un desgaste profundo e irregular en la banda de rodadura del neumático, así como vibración en el pedal de freno.

↑ **Figura 9.31.** Medición del diámetro interior del tambor.

Si el diámetro del disco de freno se encuentra entre los valores permitidos y en la superficie aparecen rayas por la fricción se podrá rectificar siempre que el fabricante lo contemple y los valores se encuentren dentro de las tolerancias.

Inspección de los elementos interiores del freno de tambor

Las zapatas deben tener suficiente material frenante (ferodo). El fabricante puede proporcionar este dato para comprobar el desgaste. En caso de que el desgaste sea excesivo se deben sustituir las zapatas por unas nuevas. Para el freno de tambor de un turismo el espesor mínimo aproximado del forro es de 0,5 milímetros.

También se verificará que el conjunto no presente indicios de rotura, grietas o deformaciones, así como impregnaciones de grasa o de líquido de frenos.

Las altas temperaturas destemplan los muelles recuperadores; es necesario comprobar que recuperen su posición con rapidez y que mantengan su eficacia, en caso contrario, deberán sustituirse.

El dispositivo de corrección del desgaste de zapatas es otro elemento a verificar. Se comprueba que funciona con normalidad empujando con suavidad sobre las zapatas. El dispositivo debe impedir que retrocedan hasta la posición inicial. Si no funciona o presenta daños o rotura de algún elemento se sustituirá por uno nuevo.

En el bombín, se debe comprobar que no presenta pérdidas de líquido y que sus émbolos se desplazan con suavidad. En caso de gripaje de los émbolos, se debe realizar su sustitución.

En los bombines y émbolos, la falta de hermeticidad produce un efecto similar al que se produce en la bomba, provoca pérdidas de líquido y de eficacia en los bombines y émbolos. Las pérdidas se localizan visualmente tras desmontar el tambor ya que el líquido impregna las zapatas. La rotura de retenes se puede reparar mediante la sustitución de estos por unos nuevos.

Las zapatas impregnadas con líquido de frenos deben ser sustituidas, ya que pierden sus propiedades y disminuye el coeficiente de adherencia y la fuerza de frenado de esa rueda.

Con el tambor montado se procede a comprobar que el conjunto funciona. Si se pisa el pedal de freno, se debe observar que la rueda se frena y al soltarlo que gira libremente.

saber más

Reparación de tambores y zapatas

Las reparaciones que se realizan en los tambores y en las zapatas deberán realizarse por igual en ambos ejes.

Si es necesario rectificar un tambor, se rectificará también el eje opuesto observando el equilibrado en la frenada.

caso práctico inicial

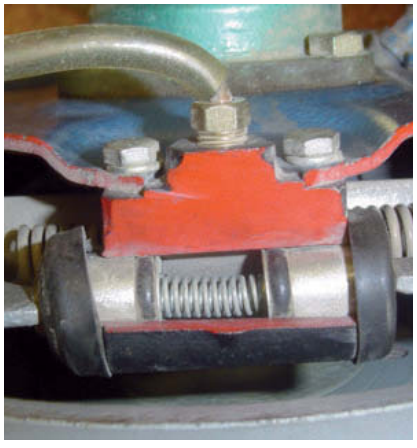
Cuando el mecánico desmonta el tambor detecta una pérdida de líquido de frenos por el bombín.

La pérdida de liquido de freno, por el bombín es debida al desgaste del retén interior.

caso práctico inicial

Las zapatas de freno se deben sustituir ya que al ser impregnadas con líquido de frenos han perdido sus propiedades.

↑ **Figura 9.32.** Rectificado de un tambor de freno.



↑ **Figura 9.33.** Bombín de frenos seccionado.

↑ **Figura 9.34.** Pérdida de líquido de frenos por el bombín.

2.10. Comprobación del freno de estacionamiento

El diagnóstico del freno de estacionamiento (freno de mano) se limita a comprobar que el dispositivo de accionamiento, palanca y cables, actúa correctamente sobre la palanca de accionamiento de las zapatas (sistema de freno de tambor), o sobre la palanca de accionamiento de las pastillas (sistema de freno de disco).

Los reglajes se realizan según indican las especificaciones del fabricante, pero como norma se considera que en el tercer o cuarto diente del trinquete de la palanca de accionamiento manual, el freno debe actuar y frenar el vehículo. Soltando la palanca, el vehículo queda libre del dispositivo de freno.

El cable de accionamiento incorpora un mecanismo de tensado para el ajuste de las zapatas o pastillas.

↑ **Figura 9.36.** Palanca del freno de estacionamiento de un turismo.

↑ **Figura 9.37.** Mecanismo de tensado del cable del freno de estacionamiento.

caso **práctico** inicial

Las zapatas de freno se deben sustituir ya que al ser impregnadas con líquido de frenos han perdido sus propiedades.

↑ **Figura 9.35.** Palanca de accionamiento de las pastillas del freno de estacionamiento.

recuerda

Si se desmonta o desconecta cualquier componente hidráulico, puede ser necesario purgar todo o parte del sistema de frenado.

2.11. Medidas de seguridad y depósito de resíduos

En los trabajos de mantenimiento del sistema de freno se deben seguir entre otras las siguientes consideraciones:

- Evitar el contacto del líquido de frenos con la piel y los ojos, para ello, utilizar guantes y gafas protectoras.
- No inhalar restos de ferodo desgastado depositado en los elementos del circuito. Si es necesario utilizar máscaras para protegerse.
- Evitar que el líquido de frenos, entre en contacto con cualquier superficie pintada.
- No mezclar el líquido de frenos, utilizar siempre el líquido recomendado por el fabricante.
- Utilizar la herramienta adecuada y en buen estado.
- Seguir las recomendaciones indicadas por el fabricante en los manuales de reparación.

El líquido de frenos, las canalizaciones, las pastillas y las zapatas sustituidas se deben almacenar en los depósitos y cajones adecuados para ser retirados por un centro autorizado de residuos.

↑ **Figura 9.38.** Envase para residuos metálicos de pequeño tamaño.

3. Cuadro de diagnóstico de averías

En la siguiente tabla podemos determinar los síntomas o defectos más comunes del sistema de freno, las causas que los producen y la reparación más adecuada.

Síntoma o defecto	Causa posible	Reparación
Fuerza de frenado insuficiente.	Fuga de líquido de frenos por las tuberías del sistema de freno.	Localizar el punto de la fuga y repararlo.
	Disco de freno o pastillas manchadas de aceite.	Limpiar o reemplazar.
	Frenos sobrecalentados.	Determinar causa y reparar.
	Contacto deficiente de las zapatas sobre el tambor del freno.	Reparar para obtener el contacto adecuado.
	Forros de las zapatas de freno manchados de aceite o húmedos por el agua.	Reemplazar.
	Forros de pastillas de freno desgastados.	Reemplazar.
	Cilindros de rueda defectuosos.	Reparar o reemplazar.
	Funcionamiento defectuoso del conjunto de pinza.	Reparar o reemplazar.
	Aire en el sistema.	Purgar el sistema.
	Longitud mal ajustada del resorte del compensador de frenada, si está equipado.	Comprobar o ajustar.
	Resorte roto del compensador de frenada, si está equipado.	Reemplazar.
	Compensador de frenada defectuoso, si está equipado.	Reemplazar.
Desviación de frenado (los frenos no actúan simultáneamente).	Los forros de las pastillas y/o de las zapatas están húmedos por el agua o bien están manchados de aceite.	Reemplazar.
	La holgura tambor-zapata no es la correcta (funcionamiento defectuoso del mecanismo de ajuste automático).	Comprobar si el mecanismo de ajuste automático no funciona.
	Disco y/o tambor ovalados.	Reemplazar.
	Los neumáticos están inflados de manera desigual.	Inflar de manera uniforme.
	Funcionamiento defectuoso en los cilindros de las ruedas.	Reparar o reemplazar.
	Tubos o mangueras de freno obstruidas.	Comprobar las mangueras y tuberías dañadas o blandas. Reemplazar por mangueras nuevas y tuberías nuevas de doble pared de acero.
	Funcionamiento defectuoso del conjunto de pinza.	Comprobar si hay pistones agarrotados o defectuosos y si la lubricación del casquillo de deslizamiento de la pinza es adecuada. La pinza debe deslizarse bien.
	Piezas de la suspensión flojas.	Comprobar el montaje de la suspensión.
	Pinza suelta.	Comprobar y apretar los pernos según las especificaciones.

Síntoma o defecto	Causa posible	Reparación
Ruidos (el freno chirría sin ser aplicado).	Desgaste de las pastillas.	Reemplazar las pastillas.
	Roce del indicador de desgaste con el disco de freno.	Reemplazar las pastillas.
El freno posterior se bloquea prematuramente.	Longitud mal ajustada del resorte compensador de frenado, si está equipado.	Comprobar o ajustar.
	Funcionamiento defectuoso del compensador de frenado, si está equipado.	Reemplazar conjunto.
Frenado desigual (desequilibrado), el vehículo tiende a salirse de la trayectoria al frenar.	Émbolo de la pinza agarrotado.	Revisar los recorridos de los émbolos y, en consecuencia, de las pastillas. Sustituir si no funcionan correctamente.
	Forros de las zapatas impregnados de líquido por pérdidas por el bombín.	Revisar y sustituir las zapatas y el bombín defectuoso.
	Inadecuado funcionamiento del corrector de frenada.	Verificar el funcionamiento del corrector.
	Mal funcionamiento de las válvulas dosificadoras de presión del eje trasero.	Verificar las válvulas y sustituir las defectuosas.
Bloqueo de los frenos al soltar el pedal.	Funcionamiento incorrecto de la bomba de freno.	Limpiar el orificio de descompensación del depósito. Verificar los retenes y sustituirlos si están dañados. Verificar el reglaje de la varilla de mando y los muelles de retroceso.
	Muelles de las zapatas debilitados.	Comprobar los muelles de retroceso y sustituirlos si están rotos o han perdido fuerza.
	Émbolos de las pinzas agarrotados.	Comprobar los desplazamientos de los émbolos y sustituirlos juntos con el retén.
	Mal funcionamiento del servofreno.	Revisar el funcionamiento del servofreno.
Recorrido excesivo del pedal, incluso es necesario pisar dos veces (carrera del pedal demasiado larga).	Fugas por los retenes de la bomba.	Revisar la bomba y sustituir los retenes o la bomba completa.
	Varilla de la bomba con excesiva holgura.	Ajustar los reglajes de la varilla de la bomba.
	Fluido insuficiente en el depósito del cilindro maestro.	Llenar el depósito con líquido de freno recomendado. Comprobar la no existencia de fugas y aire en el sistema de freno. Comprobar luz de advertencia. Purgar el sistema, si fuera necesario.
	Aire en el sistema (pedal blando/esponjoso).	Purgar el sistema.
	Sistema de freno trasero no ajustado (funcionamiento defectuoso del mecanismo de ajuste automático).	Reparar mecanismo de ajuste automático. Ajustar freno trasero.
	Zapatas de freno dobladas.	Reemplazar zapatas de freno.
	Zapatas de freno traseras desgastadas.	Reemplazar zapatas de freno.
	Incorrecto funcionamiento del servofreno.	Sustituir el servofreno si no funciona correctamente.

Síntoma o defecto	Causa posible	Reparación
Pedal muy elástico.	Aire en el circuito.	Purgar el circuito.
	Latiguillos defectuosos, envejecidos y muy elásticos.	Sustituir latiguillos defectuosos.
	Líquido de frenos inadecuado o viejo.	Sustituir el líquido.
	Fugas por los retenes de la bomba.	Revisar la bomba y sustituir los retenes o la bomba completa.
Pedal duro y baja eficacia de los frenos.	El servofreno no toma depresión, el pedal se endurece.	Revisar la bomba de vacío o la depresión del colector de admisión (según modelos) y la válvula de cierre.
	Pastillas y zapatas desgastadas que no sientan bien en los discos y tambores.	Revisar los discos, tambores, pastillas y zapatas. Sustituirlos si están defectuosos.
Roce de los frenos (existe un roce muy ligero en todos los frenos inmediatamente tras liberar el pedal).	Los pistones del cilindro maestro no vuelven correctamente.	Reemplazar el cilindro maestro.
	Tubos o mangueras de freno obstruidas.	Sustituir mangueras y tuberías dañadas o blandas por mangueras nuevas y tuberías nuevas de doble pared de acero.
	Ajuste incorrecto del freno de estacionamiento en el freno trasero.	Comprobar y ajustar según las especificaciones correctas.
	Resortes de retorno debilitados o rotos en el freno de tambor.	Reemplazar.
	Varillaje o cables del freno de estacionamiento debilitados.	Reparar o reemplazar.
	Cilindro de rueda o pistón de la pinza agarrotados.	Reparar si fuera necesario.
	Desgaste excesivo en el retén del pistón de la pinza.	Remplazar retén de la pinza.
Vibraciones en el volante al pisar el pedal.	Discos con alabeo superior al permitido.	Sustituir discos en mal estado.
	Tambores ovalados.	Sustituir tambores.
	Holgura en la fijación de los elementos: pinzas, discos, etc.	Revisar y apretar las fijaciones a su par de apriete.
Temblor del pedal (el pedal tiembla cuando se presiona para frenar).	Cojinetes de la rueda dañados o sueltos.	Reemplazar cojinetes de la rueda.
	Pivote de dirección o vástago de la rueda trasera deformados.	Reemplazar el pivote de dirección o vástago de la rueda trasera.
	Desviación excesiva lateral del disco.	Comprobar según las instrucciones. Si no se encuentra dentro de las especificaciones, reemplazar o rectificar el disco.
	El paralelismo entre la pastilla y el disco no está dentro de las especificaciones.	Comprobar según las instrucciones. Si no se encuentra dentro de las especificaciones, reemplazar o rectificar el disco.
	Tambores traseros ovalados.	Comprobar la desviación. Reparar o reemplazar el tambor, si fuera necesario.

Síntoma o defecto	Causa posible	Reparación
Ruidos de frenado.	Forros de la zapata cristalizados, o cuerpos extraños adheridos en los forros.	Reparar o reemplazar forros de zapatas.
	Forros de zapatas desgastados o deformados.	Reemplazar forro de la zapata.
	Cojinetes de las ruedas delanteras flojos.	Reemplazar cojinete de la rueda.
	Platos de soporte deformados o pernos de montaje flojos.	Reemplazar o volver apretar pernos de fijación.
	Roce del indicador de desgaste con el disco de freno.	Reemplazar las pastillas.
El testigo de advertencia del freno se ilumina cuando el motor arranca.	Freno de estacionamiento aplicado.	Soltar el freno de estacionamiento y comprobar si la lámpara de advertencia de freno se apaga.
	Insuficiente líquido de frenos.	Añadir líquido de frenos.
	Fuga de líquido de frenos por tubería del sistema de freno.	Localizar la fuga, corregir y añadir líquido de frenos.
	Circuito defectuoso del testigo de advertencia del freno.	Reparar circuito.
El testigo de advertencia del freno no se ilumina cuando se aplica el freno.	Fuga de líquido de frenos por tubería del sistema de freno.	Localizar la fuga, corregir y añadir líquido de frenos.
	Insuficiente líquido de frenos.	Añadir líquido de frenos.
El testigo de advertencia del freno no se ilumina, incluso si se aplica el freno de estacionamiento.	Circuito defectuoso del testigo de advertencia del freno.	Remplazar la bombilla o reparar el circuito.

↑ **Tabla 9.3.** Cuadro de diagnóstico de averías del sistema de freno.

Sustitución de elementos gastados o deteriorados

En cualquier elemento que se detecte gastado o dañado, se deberá decidir si reparar o sustituir.

En elementos pequeños o de bajo coste, generalmente se tiende a sustituir la pieza. Para ello, se seguirán los procesos de sustitución que el fabricante recomiende en los manuales de reparación.

Para otros elementos de vehículos antiguos en los que no hay existencias o para elementos cuyo coste es muy elevado, suelen existir kits para su reparación cuyo coste es más económico.

Debemos tener presente que del sistema de freno depende la seguridad del vehículo y que, por ello, tras una reparación, se debe comprobar que el sistema funciona perfectamente.

saber más

Limpieza de elementos hidráulicos

Cuando se desmontan elementos hidráulicos, la limpieza se realiza con líquido de frenos del circuito; no se emplean gasolinas o disolventes.

4. Frenómetro, comprobación del sistema de freno

↑ **Figura 9.39.** Frenómetro de placas.

Para comprobar el sistema de frenado de un vehículo, existen equipos de diagnosis que miden y comparan la fuerza que realizan los frenos. Estos equipos son los denominados bancos de frenos o frenómetros. Los más empleados son los de rodillos y los de placas móviles.

Si no se dispone de frenómetro, la comprobación del sistema de frenos se puede realizar mediante una prueba de frenado en carretera.

En el banco de frenos se puede medir la fuerza y la eficacia del sistema de frenado por eje, delantero y trasero, y la fuerza y la eficacia del freno de estacionamiento. Estos datos deben ser interpretados como un estudio de los elementos en conjunto para determinar el funcionamiento correcto del sistema de frenado del vehículo.

Actualmente, se están aplicando programas informáticos que analizan la fuerza de frenado por rueda durante todo el proceso de frenado, con lo que permite analizar y determinar minuciosamente el comportamiento y el estado de los frenos.

El primer factor de gran importancia en el estado de los frenos de un vehículo es el equilibrio entre los valores correspondientes a la fuerza de frenado entre las ruedas de un mismo eje. Se considera incorrecta una diferencia superior al 20% en su punto máximo.

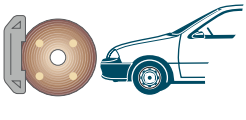
caso práctico inicial

En la prueba del freno de estacionamiento se obtiene la misma descompensación que en la prueba realizada con el freno de servicio para las ruedas traseras.

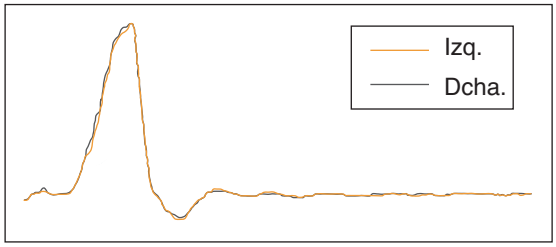
El segundo factor de importancia es el reparto de frenada entre los ejes delantero y trasero. Se consideran correctos valores de frenada entre el 70 y el 90% para el eje delantero, y entre el 30 y el 10% para el trasero. En ninguna circunstancia debe frenar más el eje trasero que el delantero.

En último lugar se evalúa la eficacia de la frenada. Este factor era de gran importancia en vehículos clásicos; actualmente, el problema está resuelto con las ayudas mecánicas (servofrenos). Se considera una eficacia correcta cuando el conjunto de freno de pie supera los dos tercios del peso del vehículo, y un tercio para el freno de mano.

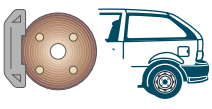
En la siguiente gráfica, analizaremos un vehículo con 1.701 km, modelo Seat Córdoba TDI, de 130 CV. Los datos obtenidos por el frenómetro son los siguientes:



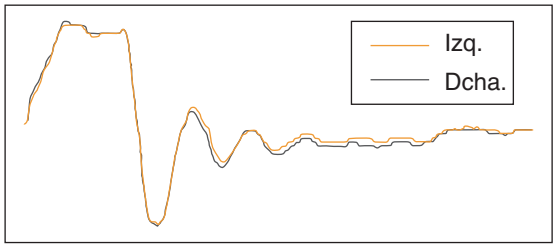
Freno delantero



Fuerza de frenado	Eficacia	Fuerza de frenado
Izq.	**%**	**Dcha.**
16 daN	20	20 daN
12 daN	25	16 daN
112 daN	17	135 daN
392 daN	0	392 daN



Freno trasero



Fuerza de frenado	Eficacia	Fuerza de frenado
Izq.	**%**	**Dcha.**
18 daN	17	21 daN
38 daN	15	45 daN
63 daN	7	68 daN
100 daN	4	104 daN

↑ **Figura 9.40.** Pruebas de frenado del freno de servicio en banco (datos obtenidos).

En el eje delantero podemos observar que, en diferentes puntos, los frenos de la rueda izquierda y derecha han llegado a estar descompensados hasta un 25%. La frenada final está compensada con un 0% de descompensación, lo que da como resultado 392 de fuerza en el frenado en cada una de las ruedas.

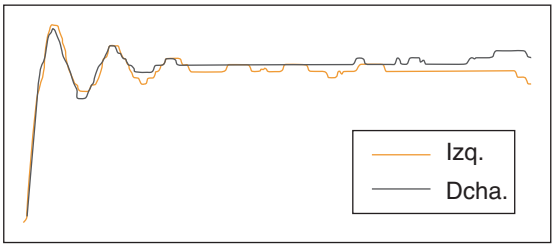
En cuanto al eje trasero, podemos observar que la descompensación máxima ha sido, al comienzo de la prueba, con un 17% de descompensación entre ruedas.

Hacia el final de la frenada se ha ido compensando la fuerza entre ruedas, hasta llegar a una descompensación final de un 4%. El resultado final de fuerza de frenado por rueda ha sido de 100 daN para la rueda izquierda y 104 daN para la rueda derecha.

saber más

En la revisión periódica de la ITV, se miden las diferencias de frenado de las ruedas de un mismo eje. Con diferencias superiores al 20% en los ejes o en el freno de mano, no se considera favorable la inspección.

Freno de mano



Fuerza de frenado	Eficacia	Fuerza de frenado
Izq.	**%**	**Dcha.**
6 daN	19	7 daN
56 daN	10	62 daN
87 daN	10	96 daN
121 daN	2	119 daN

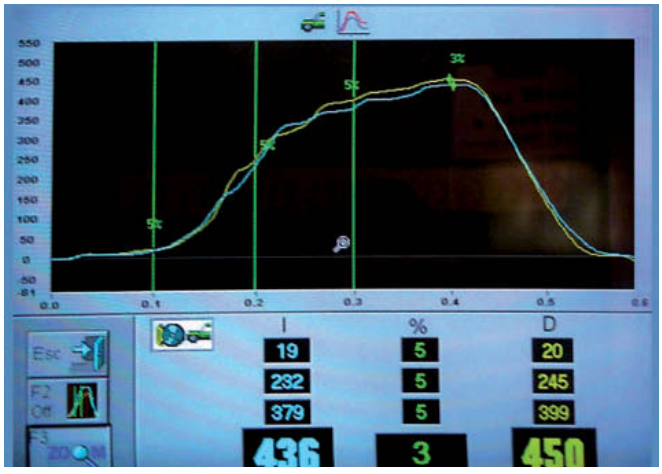
↑ **Figura 9.41.** Pruebas de frenado del freno de estacionamiento en banco (datos obtenidos).

Por último, analizando el frenado del freno de mano o estacionamiento podemos observar que la descompensación máxima ha sido al inicio de la frenada, con una descompensación de un 19% entre ruedas. La descompensación final es de un 2% con valores por rueda de 121 daN para la rueda izquierda y 119 daN para la derecha.

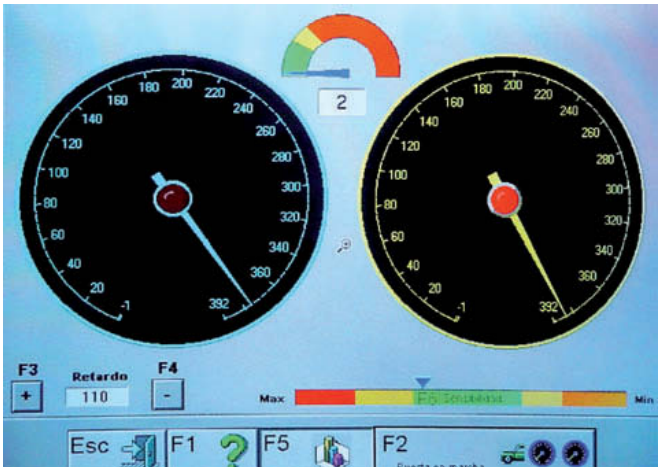
La eficacia total del freno de servicio en el Seat Córdoba es de un 99%, con una fuerza total entre las cuatro ruedas de 988 daN, y con un reparto entre ejes de un 79% para el eje delantero y un 21% para el eje trasero.

Como hemos visto, la descompensación del freno de mano es mínima, con un valor de un 2%. Pero la eficacia de la prueba con el frenómetro ha sido de un 24% con respecto al peso del vehículo. Esto significa, que la fuerza que se ha realizado por el freno de mano en el momento de la prueba ha sido pequeña, pero suficiente para frenar el vehículo durante esta. El dato más importante, es que no existe apenas descompensación entre ruedas.

En el gráfico de la figura 9.42 se pueden observar los puntos donde existe mayor descompensación entre el freno de la rueda derecha y de la izquierda en el eje delantero.



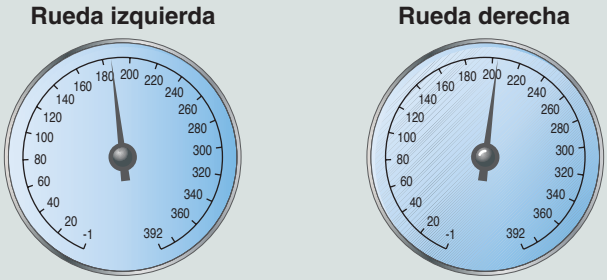
↑ **Figura 9.42.** Gráfica de frenado con diferencia entre ruedas de un mismo eje.



↑ **Figura 9.43.** Comparación de la fuerza de frenado realizada entre ruedas de un mismo eje.

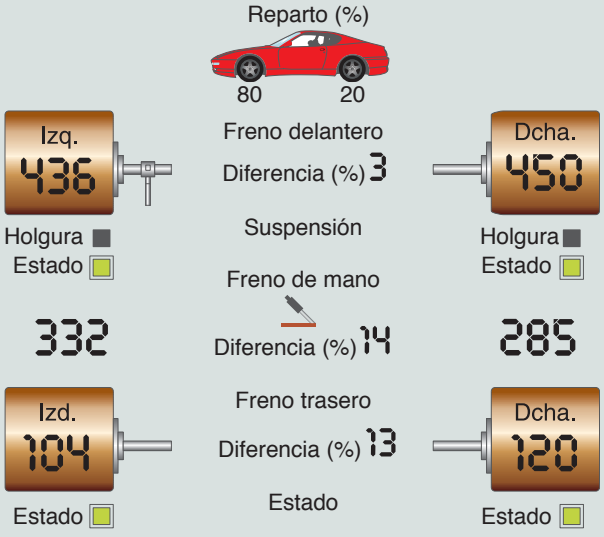
ACTIVIDADES FINALES

1. Busca en manuales de reparación las características principales del circuito de freno de un vehículo ligero y anótalas en una tabla. Anota también los pares de apriete de los elementos del circuito.
2. ¿Cuáles pueden ser las causas de un nivel bajo del líquido de frenos del depósito?
3. ¿Qué consideraciones se deben tener en el rectificado de los discos de freno?
4. ¿Qué puede originar una fuga de líquido de frenos en la pinza o mordaza?
5. ¿Qué es el purgado del circuito de freno? ¿Cómo se realiza?
6. Explica la misión del banco de frenos y los parámetros que se pueden medir.
7. ¿Qué comprobaciones se deben realizar en un tambor de freno?
8. ¿Por qué es necesario cambiar el líquido de frenos cada cierto tiempo?
9. Interpreta la siguiente lectura de medición de la fuerza de frenado del eje delantero de un vehículo.



↑ **Figura 9.44.** Valores obtenidos en la prueba de frenado del eje delantero.

10. Analiza e interpreta el frenado del siguiente vehículo (unidades en daN).



↑ **Figura 9.45.** Resultados obtenidos de todo el vehículo en la prueba de frenado.

EVALÚA TUS CONOCIMIENTOS

Resuelve en tu cuaderno o bloc de notas

1. ¿Qué problema origina que el líquido de frenos sea de color gris?

a. Un desgaste en los retenes o guardapolvos.

b. Un desgaste en la bomba de freno o en los cilindros.

c. La mezcla de dos líquidos con diferente DOT.

d. Ninguna de las respuestas anteriores es correcta.

2. ¿Cuál de las siguientes causas puede provocar un pedal de freno muy elástico?

a. Compensador de frenada defectuoso.

b. Émbolos de las pinzas agarrotados.

c. Aire en el circuito.

d. Zapatas de freno dobladas.

3. Verdadero o falso:

El agua dentro del circuito de freno oxida los cilindros, los émbolos y las canalizaciones.

a. Verdadero.

b. Falso.

4. ¿Cuál es el espesor mínimo aproximado del forro de las zapatas de freno de tambor de un turismo?

a. 5 milímetros.

b. 15 milímetros.

c. 0,5 milímetros.

d. 3 milímetros.

5. El líquido de frenos se debe cambiar cada:

a. Seis meses.

b. Cada dos o tres años.

c. Cada diez años.

d. Nunca.

6. ¿Qué útil se emplea para medir el alabeo del disco?

a. El micrómetro.

b. El calibre.

c. El metro.

d. El reloj comparador.

7. ¿Cuándo es necesario purgar el circuito de freno?

a. Siempre que se sustituya algún elemento hidráulico del sistema o tenga aire el circuito.

b. Siempre que se cambien las pastillas de freno.

c. Siempre que se cambien los discos de freno.

d. Nunca.

8. ¿Qué diferencias de frenado se consideran aceptables para ruedas de un mismo eje?

a. Diferencias inferiores al 10%.

b. Diferencias inferiores al 20%.

c. Diferencias inferiores al 2%.

d. Diferencias inferiores al 30%.

9. ¿Cuál de las siguientes causas no provoca un frenado insuficiente?

a. Aire en el sistema.

b. Frenos sobrecalentados.

c. Disco de freno ovalado.

d. Disco de freno o pastillas manchadas de aceite.

10. Verdadero o falso:

La desalineación de las ruedas, en particular aquellas condiciones provocadas por unos ángulos de avance y caída excesivos, hará que los frenos tiren hacia un lado.

a. Verdadero.

b. Falso.

PRÁCTICA **PROFESIONAL**

HERRAMIENTAS

- Pistola de impacto
- Juego de llaves de allen
- Destornillador plano

MATERIAL

- Vehículo
- Líquido de frenos
- Pastillas de freno nuevas
- Limpiador de freno

Cambio de pastillas de freno

OBJETIVO

Realizar el cambio de pastillas de freno de un automóvil.

PRECAUCIONES

- El líquido de frenos es muy corrosivo y ataca la pintura del vehículo.
- Si las pastillas están gastadas y el depósito del líquido tiene poco líquido no añadir hasta que se monten las nuevas.
- Evitar dañar el disco.

DESARROLLO

Para la sustitución de las pastillas de freno del vehículo de la práctica se seguirá este proceso:

1. Situar el vehículo en el elevador teniendo en cuenta que los soportes de sujeción se sitúen en el lugar indicado en el vehículo (véase figura 9.46).
2. Desmontar el tapacubos de la rueda y aflojar los tornillos. Para facilitar el desmontaje de los tornillos de rueda se puede utilizar una pistola de impacto con la boca adecuada (véase figura 9.48).

↑ **Figura 9.46.** Elevación del vehículo.

↑ **Figura 9.47.** Extracción del tapacubos.

↑ **Figura 9.48.** Extracción de la rueda.

3. Introducir un poco el pistón de la pinza con ayuda de un destornillador. Esto facilitará el desmontaje de las pastillas viejas como el montaje de las nuevas. Debemos tener en cuenta que si el líquido de frenos se encuentra en la raya de máximo del depósito, es posible que al introducir el émbolo de la pinza se derrame el líquido de frenos al exterior. Evitar dañar la superficie de contacto del disco.
4. Extraer los tornillos de la pinza. Para ello, quitar la tapa protectora de los tornillos y con una llave de allen extraer los tronillos de fijación (véase figura 9.50).
5. Al extraer la pinza, se quedan al descubierto las pastillas de freno usadas (véase figura 9.51).

↑ **Figura 9.49.** Separación de las pastillas con el disco.

↑ **Figura 9.50.** Extracción de los tornillos de fijación de la pinza.

↑ **Figura 9.51.** Extracción de la pinza.

6. Extraer las pastillas. Las pastillas entran y salen a presión, ya que las mismas traen una trabita metálica, que permite la fijación cuando los pistones no ejercen presión sobre ellas.
7. Con las pastillas desmontadas comprobamos que son diferentes. La pastilla interior es de mayor tamaño y por la parte trasera va marcada por el roce con el émbolo (véase figura 9.54).

↑ **Figura 9.52.** Pastilla vieja desmontada.

↑ **Figura 9.53.** Freno sin pastillas.

↑ **Figura 9.54.** Pastilla interior (muestra contacto con el émbolo)

8. Limpiar el disco y la pinza con disolvente de limpieza o líquido limpiador.
9. Limpiar y suavizar con grasa los casquillos sobre los que se desplaza la pinza. Estos elementos, aun llevando un fuelle protector, se ensucian con el ferodo y con óxido.
10. Montar las pastillas nuevas. Comenzar por la interior posicionando correctamente las trabitas (véase figura 9.57) y posteriormente montar la pastilla exterior (véase figura 9.58).

↑ **Figura 9.55.** Juego de pastillas nuevo.

↑ **Figura 9.56.** Pastillas nuevas montadas.

↑ **Figura 9.57.** Limpieza del casquillo.

11. Una vez montadas las pastillas nuevas, posicionar la pinza y apretar los tornillos de fijación con la llave de allen. Es conveniente haber limpiado con anterioridad los tornillos de fijación y haberles aplicado un poco fijatornillos.
12. Por último, comprobar el nivel del líquido de frenos en el depósito. Este deberá quedar entre las marcas de máximo y mínimo. En caso de tener que añadir, se deberá utilizar líquido de las mismas especificaciones.

↑ **Figura 9.58.** Montaje de la pastilla interior y de las trabitas metálicas.

↑ **Figura 9.59.** Montaje y apriete de la pinza.

↑ **Figura 9.60.** Verificado del nivel del líquido de frenos.

MUNDO **TÉCNICO**

¿Sabes detectar si los frenos están en mal estado?

Parece que los frenos son uno de los componentes más desconocidos del coche, ya que solo un 13,5% de los automovilistas sabe detectar si están en mal estado, al menos eso dice un informe de Road House, empresa fabricante de productos automovilísticos de fricción.

Los conductores españoles demuestran poca o escasa concienciación en relación a un componente clave en la seguridad de su coche, como son los frenos. Solo un 13,5% sabe detectar si están en mal estado.

Esta es una de las conclusiones a las que llega un informe de la empresa Road House, en el que se añade que un 13,4% de estos conductores se preocupa personalmente de las pastillas y los discos de freno, mientras que un 85% confía esta acción a un profesional de la mecánica.

Estos datos se corresponden con el de que un 89,8% admite que los frenos deben pasar obligatoriamente revisiones periódicas y lo consideran, además, un componente clave para la seguridad del automóvil.

No obstante, de este alto porcentaje, solo un 65,4% afirma conocer que la revisión de los frenos es específica y no está asociada al examen general del coche.

Casi seis de cada diez conductores señalan que el mantenimiento de los frenos lo hace en un periodo de kilometraje determinado y poco más de la mitad indica que lo ejecuta cada 15.000 kilómetros. Un 53,3% de los conductores sospecha de algún mal funcionamiento en este componente por escuchar ruidos o chirridos.

A modo de orientación, la empresa elaboradora del informe recomienda que cada 10.000 kilómetros o en las revisiones de los vehículos, se tiene que quitar la rueda delantera y examinar el desgaste de las pastillas y si solo queda un espesor de 3 milímetros de pastilla utilizable, es necesario proceder a su cambio.

↑ **Figura 9.61.** Revisión del vehículo en el taller.

EN **RESUMEN**

MANTENIMIENTO DE LOS FRENOS EN VEHÍCULOS LIGEROS

- **Especificaciones técnicas** → Las especificaciones técnicas nos indican las características y datos de los componentes del sistema de freno: tipo, medidas, etc.
- **Diagnóstico y mantenimiento**
  - **Comprobaciones**
    - Prueba del sistema de freno → Prueba de funcionamiento en carretera
    - Fugas → Comprobación nivel de líquido en el depósito y fugas en elementos
    - Canalizaciones → Comprobar fugas de líquido, estado, fisuras, grietas, etc.
    - Líquido de frenos → Cambiar cada dos o tres años. Identificación por medio del color
    - Pedal de freno → Comprobar juego y altura libre
    - Bomba de freno → Comprobar pérdidas de líquido. Sustituir retenes o bomba completa
    - Servofreno → Comprobar funcionamiento. Prueba de presión o depresión
    - Freno de disco → Inspección de la pinza, de las pastillas, del disco y del resto de elementos
    - Freno de tambor → Inspección del tambor y de los elementos interiores
  - **Medidas de seguridad y depósito de residuos** → Protección del líquido de frenos y del ferodo
- **Comprobaciones en banco: Frenómetro**
  - Eje delantero
Eje trasero
Freno de mano → Fuerza de frenado
Equilibrio entre ruedas
Eficacia →
    - Medición de espesores de discos y pastillas
    - Alabeo de discos
    - Funcionamiento de los émbolos de las pinzas

entra en internet

■ 1. Busca en internet dos vehículos de la misma marca y modelo, pero con diferentes motorizaciones, y analiza las características del sistema de freno que montan.

10 Sistemas de seguridad en los frenos

vamos a conocer...

1. Conceptos básicos
2. Sistemas de freno antibloqueo
3. Sistema de control de tracción sobre los frenos
4. Programa electrónico de estabilidad
5. Mantenimiento de los circuitos ABS/ESP

PRÁCTICA **PROFESIONAL**

Sustitución del captador de giro de rueda de un vehículo con ABS/ESP

Comprobación del sistema de freno ABS/ESP con un equipo de diagnosis

MUNDO **TÉCNICO**

Sistemas predictivos de emergencia BOSCH

y al finalizar esta unidad...

- Conocerás los sistemas de freno antibloqueo utilizados en los vehículos y estudiarás su constitución y funcionamiento.
- Estudiarás el sistema de control de tracción sobre los frenos.
- Conocerás el programa electrónico de estabilidad y estudiaras su constitución y funcionamiento.
- Conocerás como se realiza el mantenimiento de los sistemas de seguridad en los frenos.

CASO **PRÁCTICO** INICIAL

situación de partida

Alberto tiene un Volkswagen Golf IV 1.9 TDI del año 1998.

Hace unos días llevó el vehículo al taller para que le sustituyeran el motor de arranque ya que el vehículo arrancaba con dificultad.

Al recogerlo e ir arrancarlo, le apareció iluminado el testigo amarillo del ABS del cuadro de instrumentos y poco después, al iniciar la marcha, se le iluminó también el testigo rojo de avería en el sistema de freno.

Tras recorrer unos kilómetros, Alberto comprueba que el vehículo frena con normalidad pero, si realiza una frenada en pavimento deslizante, las ruedas se bloquean.

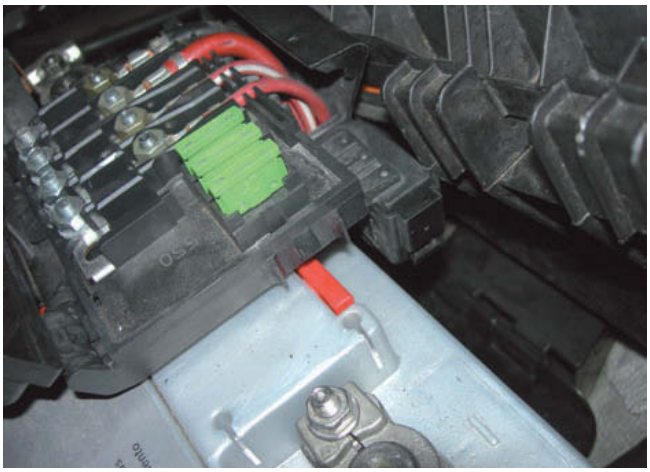
Alberto lleva el vehículo al taller para que le solucionen la avería que ha aparecido.

En el taller le conectan el equipo de diagnosis y en la memoria de averías del sistema de freno aparece lo siguiente:

01276 - La bomba hidráulica ABS (V64): Señal fuera de las especificaciones.

El mecánico comprueba que los conectores desmontados en la sustitución del motor de arranque están en perfectas condiciones y se da cuenta que el conector del ABS situado tras la batería está ligeramente desconectado.

Tras conectar correctamente el conector del ABS vuelve a revisar el sistema de freno con el equipo de diagnosis, borra las averías memorizadas y comprueba que los testigos del cuadro dejan de iluminarse.



↑ **Conector del sistema de freno ABS conectado.**

estudio del caso

Antes de empezar a leer esta unidad de trabajo, puedes contestar las dos primeras preguntas. Después, analiza cada punto del tema, con el objetivo de contestar al resto de las preguntas de este caso práctico.

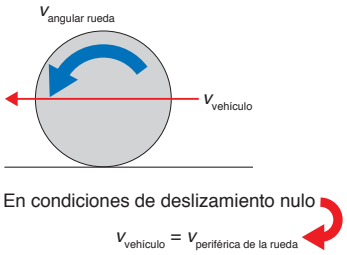
1. ¿Qué misión realizan los captadores del número de revoluciones en un sistema de freno ABS?
2. ¿Qué componentes hidráulicos posee un sistema de freno ABS que no disponga un sistema de freno tradicional?
3. ¿Por qué sigue frenando el vehículo aun cuando el ABS no actúa?
4. ¿La avería producida en el sistema de freno ABS del vehículo de Alberto es esporádica o permanente?

1. Conceptos básicos

La seguridad activa de los vehículos depende en gran medida de la eficacia del sistema de freno. En los circuitos de freno sin gestión electrónica, el circuito está diseñado con dispositivos mecánicos e hidráulicos que adaptan las presiones de frenado a las condiciones de carga, desaceleración, etc. del vehículo. El conductor es el elemento principal ya que aplica las fuerzas de frenado teniendo en cuenta el estado del terreno, velocidad, carga del vehículo, etc.

En condiciones de adherencia normales, el vehículo responde de forma eficaz a las fuerzas de frenado que se apliquen. El problema aparece cuando disminuye el coeficiente de rozamiento entre el neumático y el terreno (coeficiente de adherencia, μ); en ese momento, el neumático derrapa y el vehículo pierde estabilidad.

La velocidad periférica de una rueda que gira libremente, ni se frena ni se acelera, es igual a la velocidad de desplazamiento del vehículo. Sin embargo, la acción de una fuerza de frenado o de aceleración sobre el neumático provoca una deceleración o una aceleración del neumático con respecto a la superficie de la calzada. El neumático resbala o derrapa.



↑ **Figura 10.1.** Velocidad del vehículo.

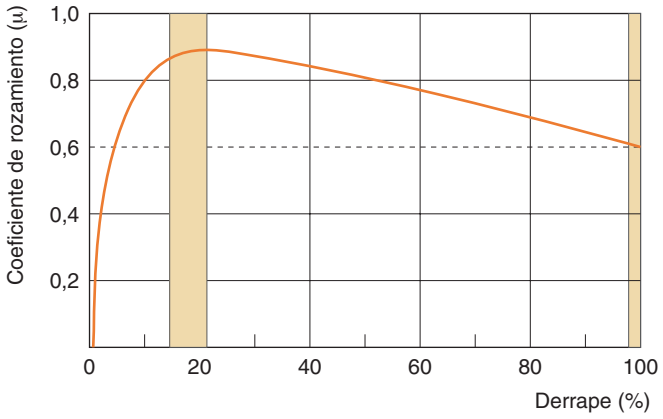
Esta diferencia de velocidad entre la velocidad del vehículo y la velocidad de la rueda se denomina **derrape o deslizamiento.** Este indica la relación entre estas dos velocidades y por esa razón se representa en porcentaje.

$$\text{Deslizamiento} = \frac{v_f - v_r}{v_f} \cdot 100 = \%$$

Siendo:
v_f = velocidad del vehículo
v_r = velocidad de la rueda

Si la rueda se encuentra bloqueada, presenta un derrape del 100%, mientras que si la rueda gira libremente, el derrape es del 0%.

El coeficiente de rozamiento óptimo que pueden alcanzar los neumáticos en procesos de frenado se sitúa entre el 15 y el 22% (véase figura 10.2); este margen representa la zona de trabajo de los sistemas de frenado gestionados electrónicamente (ABS).



→ **Figura 10.2.** Coeficiente de rozamiento y derrape del neumático.

Los neumáticos transmiten a la calzada fuerzas longitudinales y transversales. Las fuerzas longitudinales actúan durante la aceleración o la deceleración del vehículo, mientras que las fuerzas transversales actuan en el guiado lateral del vehículo.

Las fuerzas longitudinales y transversales se reparten en la fuerza de rozamiento máxima que puede transmitir el neumático. Esto significa que, por ejemplo, una rueda totalmente bloqueada no puede soportar ninguna fuerza de guiado lateral. El vehículo ya no puede maniobrar y pierde el control de la dirección.

2. Sistemas de freno antibloqueo

Los sistemas de freno antibloqueo consisten en circuitos de freno que incorporan una gestión electrohidráulica para gobernar la presión de frenado que recibe cada rueda. Estos sistemas de freno se conocen principalmente como:

- **ABS:** **A**nti **B**lockier **S**ystem.
- **ASB:** **A**ntiskid de **B**endix.
- **ABR:** **A**nti **B**loqueo de **R**uedas.

Las principales ventajas de los sistemas antibloqueo de freno son:

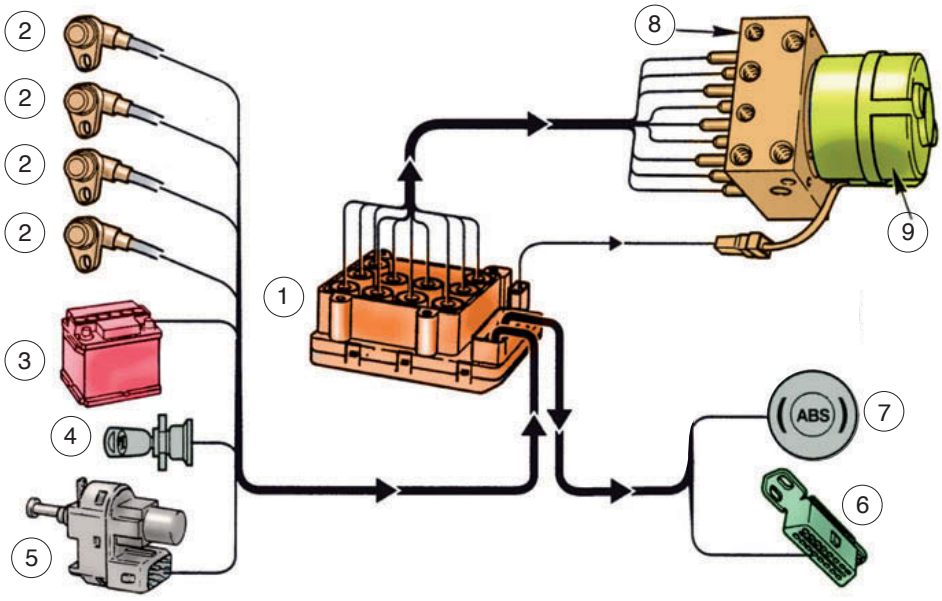
- No hay pérdida de la estabilidad direccional durante el frenado.
- Control de la dirección aún en frenadas de emergencia.
- Distancia de frenado más corta.
- Reducción en el desgaste de los neumáticos.

↑ **Figura 10.3.** Grupo hidráulico del ABS 2 de Bosch.

2.1. Constitución del sistema de freno antibloqueo

Los sistemas de freno antibloqueo, independientemente de la variante que se monte, utilizan componentes similares para su funcionamiento. Al circuito hidráulico del vehículo se le incorporan los componentes del circuito electrohidráulico, unidad de control, módulo electrohidráulico, captadores, etc.

Los principales componentes de un sistema de freno antibloqueo son:



1. Módulo del ABS MK 20-I integrado
2. Sensores de rueda
3. Batería
4. Interruptor de encendido
5. Interruptor de las luces de freno
6. Conector de diagnosis (DLC)
7. Testigo del ABS
8. Cuerpo de válvulas
9. Motor de la bomba

↑ **Figura 10.4.** Esquema del sistema de freno ABS MK 20.

Unidad de control electrónica y bloque hidráulico

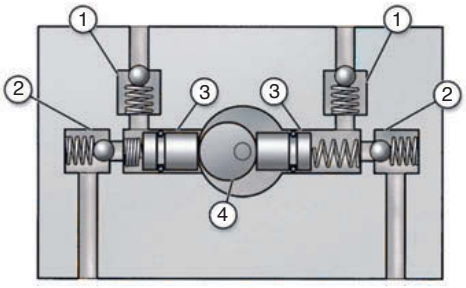
caso práctico inicial

El circuito hidráulico de freno del vehículo de Alberto funciona perfectamente ya que no tiene ninguna avería. El problema que existe es que no actúa ni la bomba hidráulica del ABS ni sus electroválvulas. Esto lo que impide es la regulación del sistema antibloqueo.

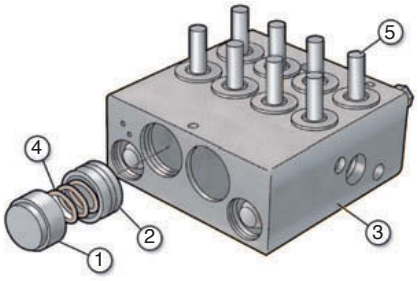
En este modelo, la unidad de control electrónica y el bloque hidráulico forman un conjunto en el que también se encuentra la bomba.

La centralita o unidad de control electrónica recibe las señales de entrada de los sensores, del conmutador de luces de freno y de los demás captadores o elementos del sistema. Procesa las señales, y cuando detecta que la rueda puede bloquearse, activa las válvulas electromagnéticas del bloque hidráulico y la bomba.

La unidad de control está diseñada como sistema redundante, es decir, el procesamiento de la señal se realiza mediante dos procesadores separados, los cuales a su vez se supervisan mutuamente. Esta dispone de la función autocomprobación y memoria de averías para localizar los fallos. Cuando detectan fallos o averías importantes, anula el sistema antibloqueo y el circuito funciona como un circuito de freno normal.



1. Válvula de aspiración de la bomba
2. Válvula de presión de la bomba
3. Émbolos
4. Eje excéntrico



1. Tapa del acumulador de baja presión
2. Émbolo del acumulador de baja presión
3. Carcasa
4. Muelle del acumulador de baja presión
5. Válvula de presión de freno

→ **Figura 10.5.** Unidad hidráulica.

Sensores de ruedas

La misión de un sensor es transformar las magnitudes físicas o químicas en magnitudes eléctricas que un módulo pueda procesar. En determinados sensores, se utilizan etapas intermedias no eléctricas. En los sistemas de freno antibloqueo se emplean sensores de dos tipos: los sensores pasivos (sensores inductivos) y sensores activos (magnetorresistivos).

↑ **Figura 10.6.** Sensor de rueda.

Sensor pasivo o inductivo

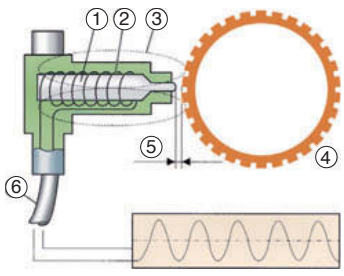
Está formado por un imán permanente (1) rodeado de un bobinado (2). Los extremos del bobinado están conectados al módulo electrohidráulico (3). Delante del extremo frontal del imán permanente gira el anillo del sensor (4), el cual se encuentra fijo al cubo de rueda.

Al girar, la rueda mueve el anillo o rueda dentada ferromagnética, la cual genera las líneas de fuerza magnética del imán permanente, induciendo en el bobinado del sensor una tensión alterna sinuosidal (véase figura 10.7).

La frecuencia y la amplitud de la tensión alterna del sensor dependen de la velocidad de giro del anillo o rueda fónica (4).

Para que el módulo electrohidráulico pueda procesar correctamente la señal que emite el sensor, es necesaria una velocidad mínima aproximada de 5 a 7 km por hora.

La señal que emite el sensor está condicionada por la suciedad del sensor y del anillo, los cuales deben estar limpios, así como de la separación entre ambos, cota (5) (véase figura 10.7). Esta cota se encuentra entre los 0,8 y 1,5 mm según el modelo.



↑ **Figura 10.7.** Sensor pasivo o inductivo y señal de tensión alterna.

Sensor activo o magnetorresistivo

El principio físico de los sensores magnetorresistivos se basa en el efecto por el cual la conductividad eléctrica de capas ferromagnéticas anisotrópicas varía bajo la influencia de un campo magnético externo que discurre al mismo nivel.

La variación de la resistencia de estas capas depende de la dirección y de la intensidad de campo magnético.

El sensor de rueda está formado por dos resistencias magnetorresistivas, conectadas con otras dos resistencias constantes en forma de conexión en puente Wheatstone (véase figura 10.8).

Este tipo de conexión compensa las influencias que provocan el envejecimiento y la temperatura en los sensores pasivos.

El puente de medición es explorado por un anillo que forman los imanes permanentes alternados. El anillo se encuentra unido al cubo de rueda o a la pista interior del cojinete y gira a la misma velocidad que la rueda.

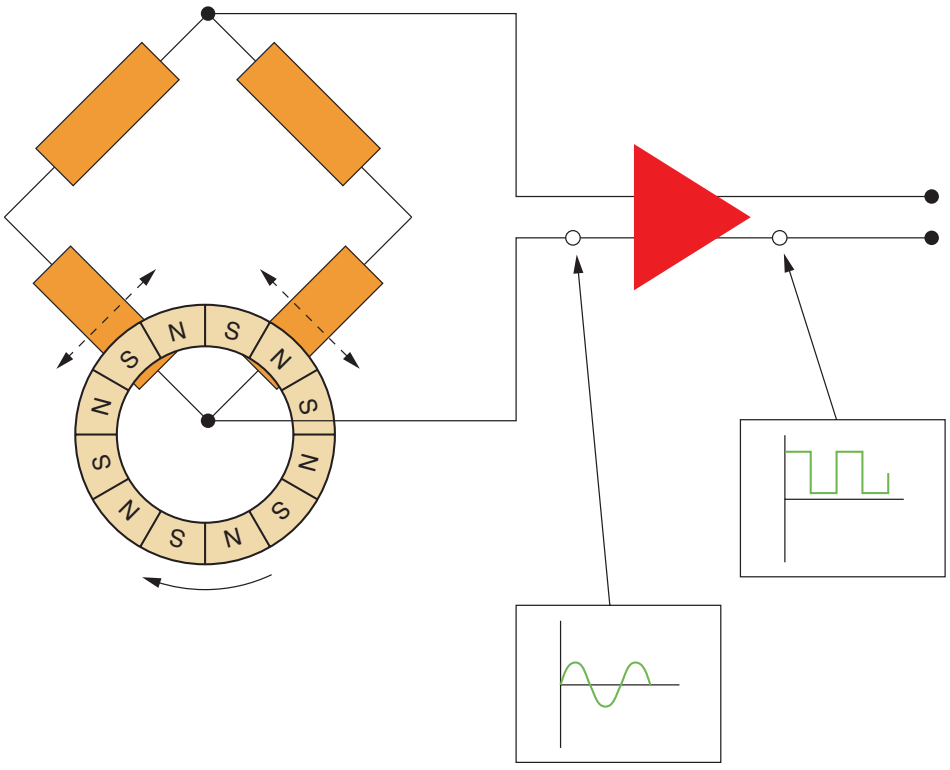
El sensor integra una unidad electrónica de evaluación que transforma la señal sinuosidal resultante del método de medición, en una señal PWM (modulación de amplitud de impulsos) de frecuencia constante (señal cuadrada digital). El sensor requiere una tensión de alimentación para su funcionamiento y dispone de dos salidas eléctricas, en total tres cables.

La señal del sensor resulta de la corriente que fluye a través del mismo. Una corriente alta (14 mA aprox.) es interpretada por el módulo electrohidráulico como una señal *high* y una corriente baja de (7 mA aprox), como una señal *low*. Este sensor no tiene desgaste.

saber más

Sensores del Ford Focus

El Ford Focus, de 1998, emplea sensores de ruedas activos. Como emisor de impulsos se utiliza una corona magnética de 44 pares de polos opuestos. El sensor activo está fijado al cojinete de la rueda.



↑ **Figura 10.8.** Sensor activo.

Montaje de los sensores de ruedas

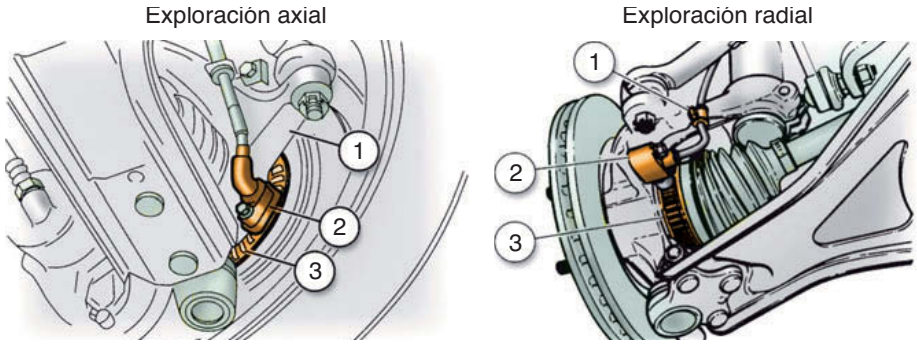
El sensor o captador de régimen de rueda se monta generalmente atornillado a la mangueta de la rueda (véase figura 10.9).

saber más

Algunos vehículos montan interruptores de freno de dos contactos, que se verifican con el equipo de diagnosis sin necesidad de desmontaje.

→ **Figura 10.9.** Montaje del sensor de ruedas en la mangueta.

Los sensores de rueda, ya sean activos o pasivos, se pueden montar de forma axial o radial.

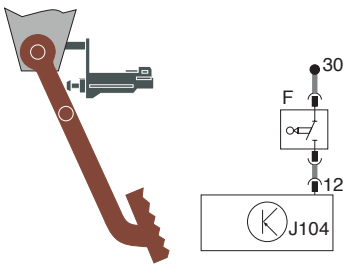


1. Mangueta 2. Sensor de rueda 3. Rueda fónica

↑ **Figura 10.10.** Montaje de los sensores de rueda.

Interruptor de las luces de freno

El interruptor de las luces de freno se fija generalmente al soporte del pedal de freno. La unidad de control electrónica recibe la señal de la tensión del interruptor cuando se pisa el pedal. Si el vehículo dispone de control de tracción, al pisar el pedal se desactiva y prevalece la función de frenado sobre el control de la tracción.



↑ **Figura 10.12.** Montaje del interruptor de freno y circuito eléctrico.

↑ **Figura 10.11.** Interruptor de freno.

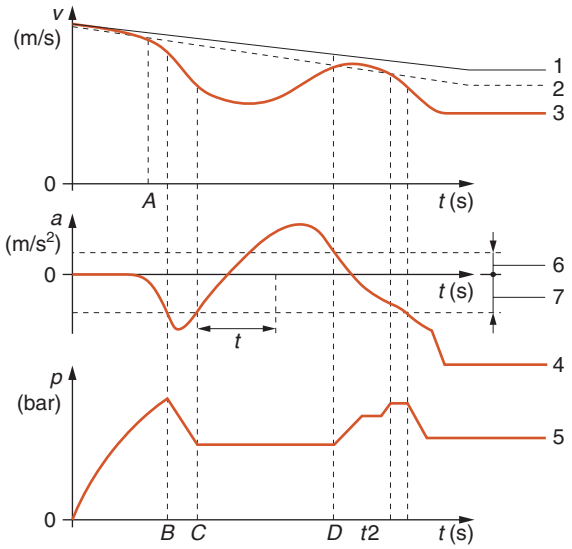
2.2. Funcionamiento del sistema de freno antibloqueo

El sistema ABS mide las revoluciones de las ruedas mediante sensores, situados cerca de las ruedas y conectados a la unidad de control electrónica. Esta recibe las señales de las cuatro ruedas y calcula la velocidad de referencia del vehículo. Esta velocidad de referencia constituye una medida para la velocidad real.

Al iniciarse una frenada, la unidad de control del ABS compara todas las velocidades periféricas de las ruedas y calcula las velocidades de referencia del vehículo.

Si una o varias de las velocidades periféricas de las ruedas no coinciden y se alejan mucho de la velocidad de referencia calculada por la unidad de control, significa que esa rueda puede llegar a bloquearse. En estas condiciones, la unidad de control activa las válvulas electromagnéticas del bloque hidráulico, las cuales liberan de presión el circuito de dicha rueda, y mantienen las presiones para que la rueda gire dentro de los parámetros marcados en la velocidad de referencia calculada por el módulo para esa frenada (véase figura 10.14).

↑ **Figura 10.13.** Prueba de frenado del vehículo ante dos superficies con diferente coeficiente de fricción.



1. Velocidad efectiva del coche
2. Velocidad de referencia del coche
3. Velocidad periférica de la rueda
4. Aceleración/deceleración de la rueda
5. Presión circuito frenante
6. Banda de aceleración admisible
7. Banda de deceleración admisible

↑ **Figura 10.14.** Velocidad, deceleración y presión de frenado con ABS.

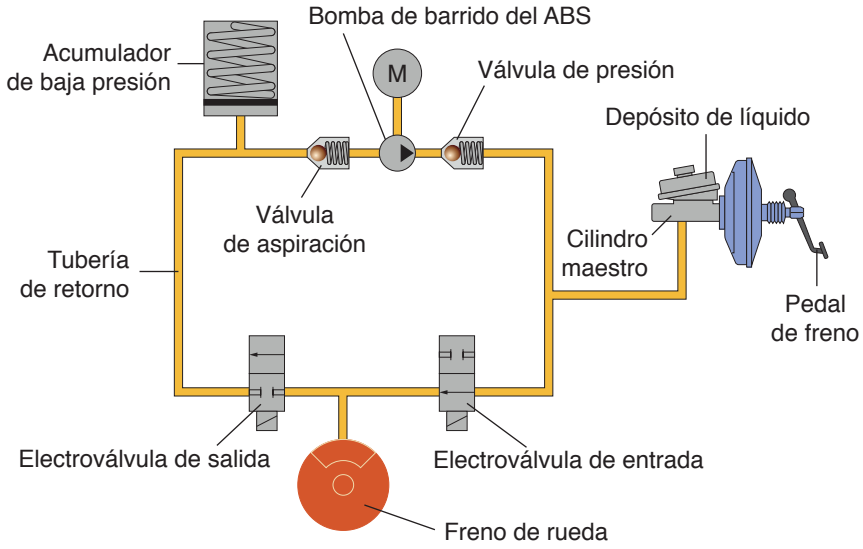
2.3. Sistema hidráulico

En los vehículos con ABS, el circuito hidráulico del sistema de freno incorpora un bloque hidráulico adicional que se monta entre las salidas del cilindro maestro (bomba de freno) y las pinzas.

El bloque hidráulico dispone de los siguientes elementos:

- Bomba de barrido.
- Válvulas de aspiración y presión.
- Acumulador de baja presión.
- Electroválvulas de entrada y salida.

Con el sistema de freno sin accionar, todos los componentes se encuentran en reposo, el sistema está lleno de líquido y no existe presión. Para entender cómo funciona el sistema, se tomará como ejemplo una sola rueda y el bloque que dispone de dos electroválvulas por rueda.

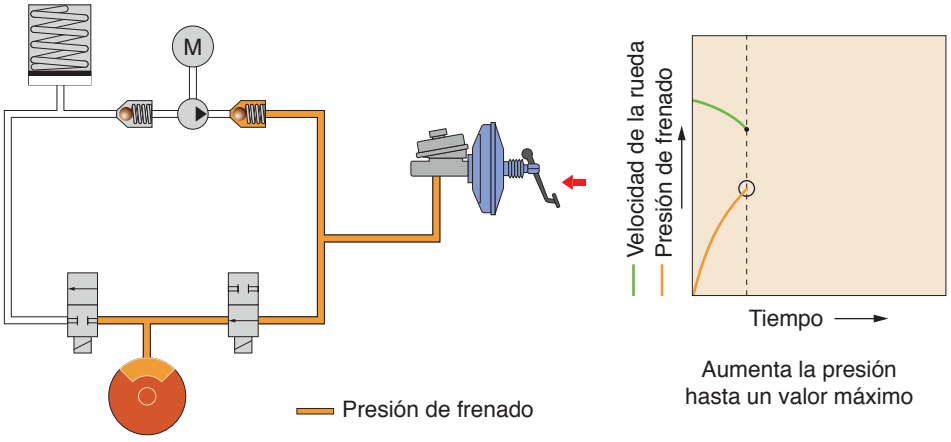


↑ **Figura 10.15.** Esquema electrohidráulico del ABS.

Fase de generación de presión (sin intervención del ABS)

Al accionar el pedal de freno se produce presión de frenado en la bomba o cilindro maestro. Mediante la fuerza del pedal y la amplificación del servofreno la presión pasa por el bloque hidráulico hacia la electroválvula de entrada que se encuentra sin activar (NA, normalmente abierta).

La válvula de salida, en situación de reposo se encuentra cerrada (NC, normalmente cerrada). El funcionamiento del circuito hidráulico es similar al de un sistema de freno normal (véase figura 10.16).

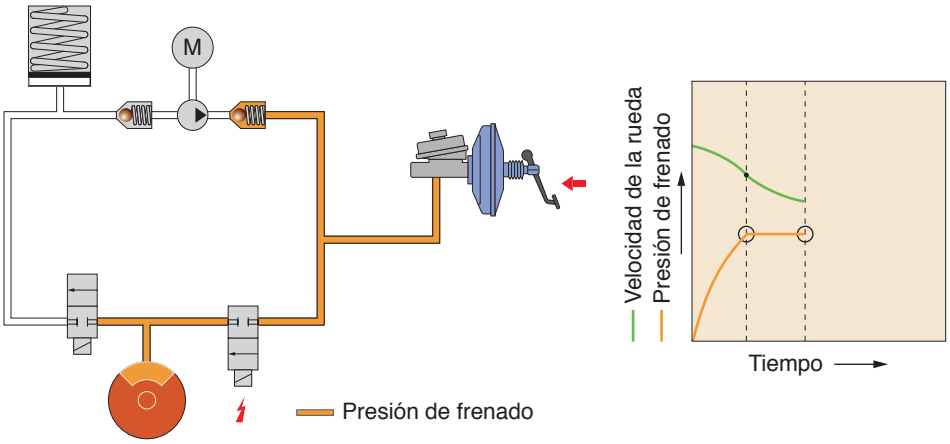


↑ **Figura 10.16.** Fase de generación de la presión.

Fase de mantenimiento de presión (al intervenir el ABS)

Si tras la generación de la presión y el frenado que sigue a continuación la rueda tiende a bloquearse, la unidad de control excita la electroválvula de entrada, cambia de posición y cierra el paso de líquido a presión en la tubería de alimentación hacia el freno de rueda. La válvula de salida en la tubería de retorno permanece cerrada.

La presión generada en el freno de rueda se mantiene y no puede ser incrementada por el circuito, aunque el conductor pise el pedal con mayor fuerza. Las electroválvulas permanecen cerradas (véase figura 10.17).



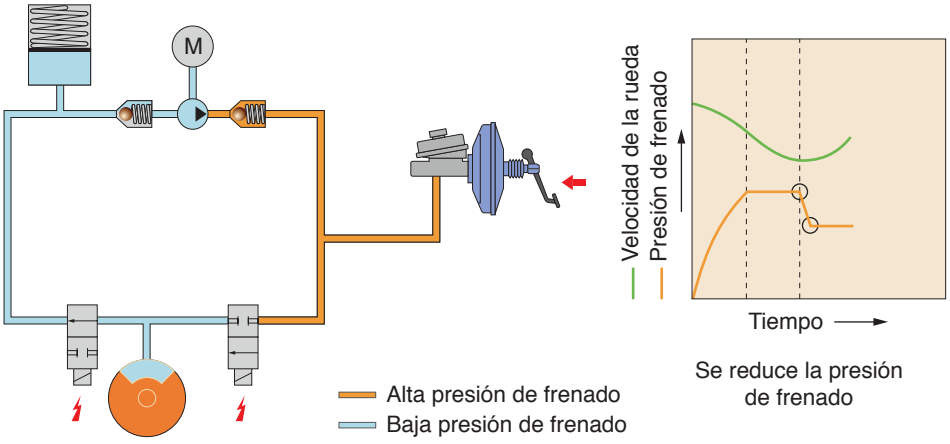
↑ **Figura 10.17.** Fase de mantenimiento de la presión.

Fase de reducción de la presión (durante la regulación del ABS)

En situaciones en las que se mantiene la presión en el circuito con la válvula de entrada cerrada, si persiste el peligro de bloqueo (debido a poca adherencia), se reduce la presión aplicada en el freno de rueda.

Para ello, la válvula de salida en la tubería de retorno se abre, gracias a la señal enviada por la unidad de control.

La presión desciende y el líquido circula por la tubería de retorno hasta el acumulador de baja presión. La válvula de entrada de presión continúa cerrada, y al reducirse la presión de frenado, la rueda bloqueada comienza de nuevo a girar (véase figura 10.18).



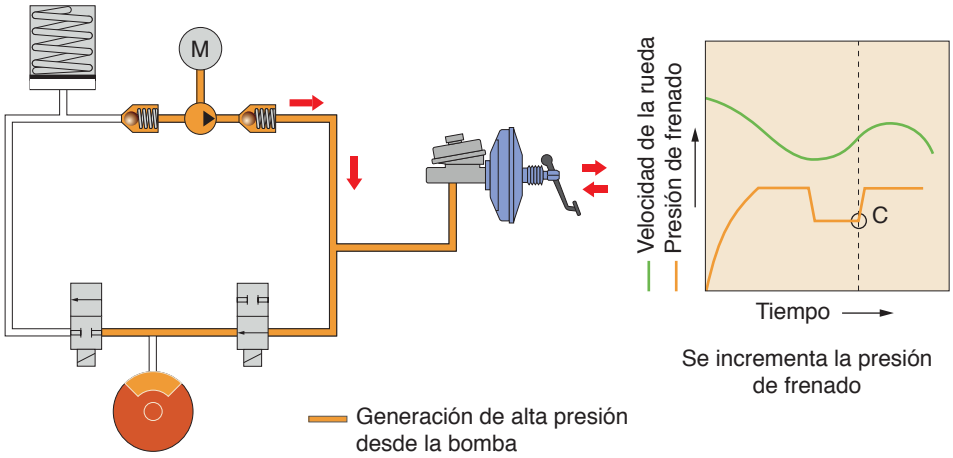
↑ **Figura 10.18.** Fase de reducción de la presión.

Si el conductor sigue pisando el pedal y se necesita presión para frenar la rueda, la unidad de control conecta la bomba de barrido para generar la presión.

Fase de generación de presión (bomba conectada)

Cuando interviene la regulación, el circuito del ABS está funcionando y la unidad de control conecta la bomba de barrido.

Esta aspira, del acumulador de baja presión, el líquido de frenos evacuado del freno de la rueda y vuelve a poner a disposición líquido a presión en el circuito de freno; las electroválvulas no están activadas (véase figura 10.19).



→ **Figura 10.19.** Fase de generación de presión con la bomba ABS.

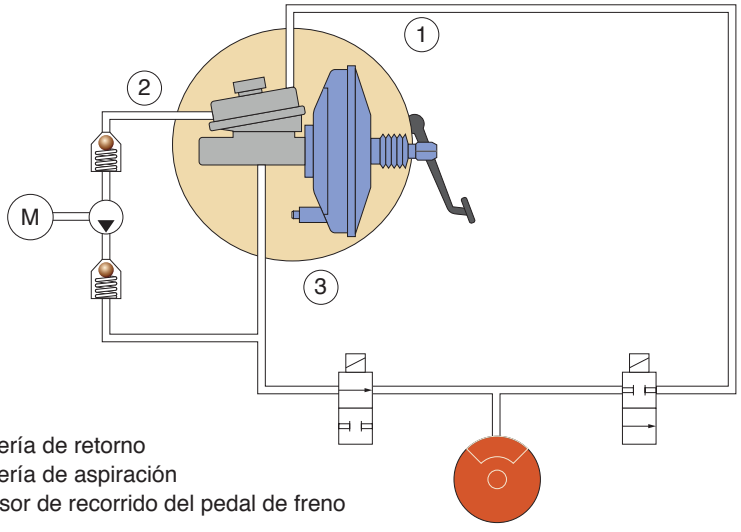
Durante el frenado con regulación ABS, el pedal de freno permanece en la posición inicial pisado. El conductor puede percibir las oscilaciones de presión que se originan durante la regulación por las vibraciones que se producen en el pedal de freno.

2.4. Diferencias específicas de los sistemas de freno antibloqueo

El método de regulación es idéntico en la mayoría de los sistemas empleados. Sin embargo, pueden utilizarse las siguientes variantes:

Sistema de retorno abierto/cerrado

Un sistema de freno antibloqueo con retorno abierto dispone de un acumulador de baja presión. El líquido evacuado en la fase de reducción de presión llega primeramente al depósito de freno. La bomba de barrido lo aspira directamente del depósito y el pedal de freno dispone de un sensor de recorrido.



1. Tubería de retorno
2. Tubería de aspiración
3. Sensor de recorrido del pedal de freno

→ **Figura 10.20.** Sistema ABS de retorno abierto/cerrado.

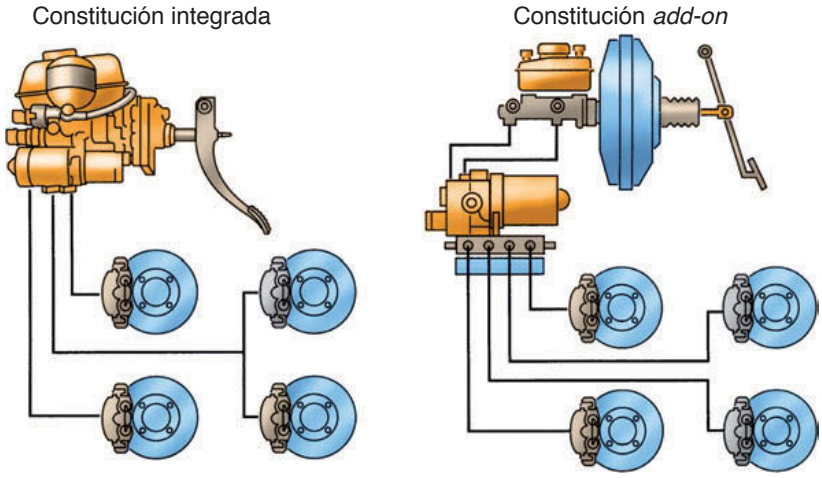
Constitución integrada

En la constitución integrada, se reúnen en una unidad compacta todos los componentes que generan y regulan la presión (cilindro maestro, bloque de válvulas, bomba de barrido, acumulador de presión exterior). Esta unidad sustituye al cilindro maestro de freno montado normalmente.

Constitución *add-on*

En la constitución *add-on* se mantienen los componentes del sistema de freno (cilindro maestro, servofreno) y se complementan con una unidad de control hidráulico (HCU), que se monta adicionalmente.

La unidad de control hidráulico está compuesta por el bloque hidráulico de válvulas, la bomba de barrido, el acumulador de baja presión interior y la unidad de control del ABS.



← **Figura 10.21.** Constitución de los sistemas antibloqueo.

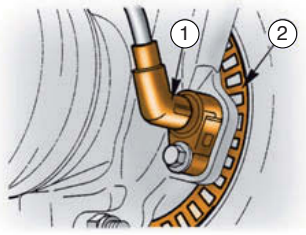
Además, los sistemas de freno antibloqueo se pueden diferenciar por el número de sensores de velocidad y el número de canales.

Número de sensores de velocidad en las ruedas

Los sistemas de freno antibloqueo de los automóviles pueden disponer de dos, tres o cuatro sensores. En el caso de cuatro sensores, cada rueda dispone de su propio sensor.

Número de canales

El número de circuitos de control también puede variar. Los hay de dos, tres y cuatro canales.

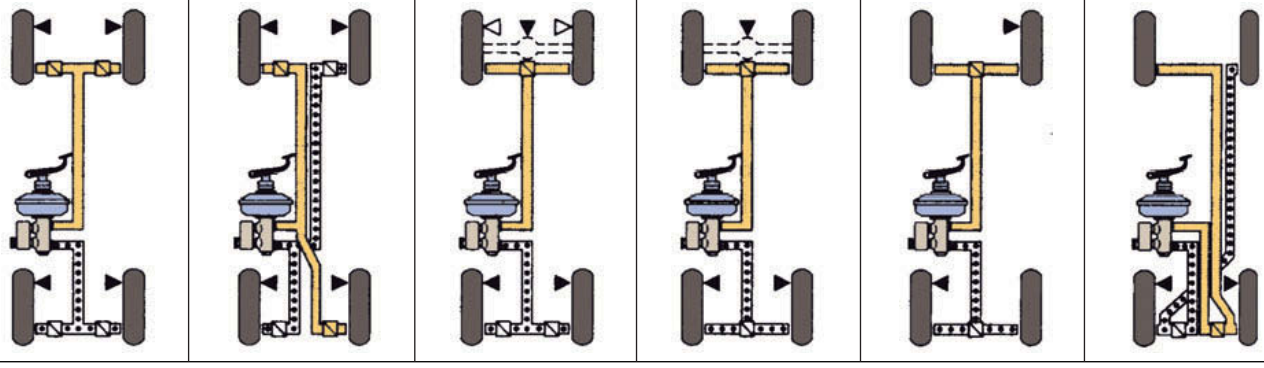


1. Sensor de rueda
2. Corona

↑ **Figura 10.22.** Posición del sensor en la rueda.

Variantes del sistema ABS
☐ Canal de regulación ◀ Sensor ◁ Sensor (alternat. sensor difer.)

4 canales		3 canales	2 canales		
4 sensores		3 sensores	3 sensores	2 sensores	
Del. detrás	Diagonal	Del. detrás	Del. detrás	Del. detrás	Diagonal
Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Variante 6



↑ **Figura 10.23.** Disposiciones y variantes de circuitos ABS.

3. Sistema de control de tracción sobre los frenos

saber más

El sistema de control de tracción que emplea Ford es el BTCS y funciona de manera similar al empleado por otros fabricantes.

El sistema de control de tracción sobre los frenos comparte los elementos del sistema antibloqueo de freno e integra los componentes para el control de tracción en la unidad de control electrohidráulica.

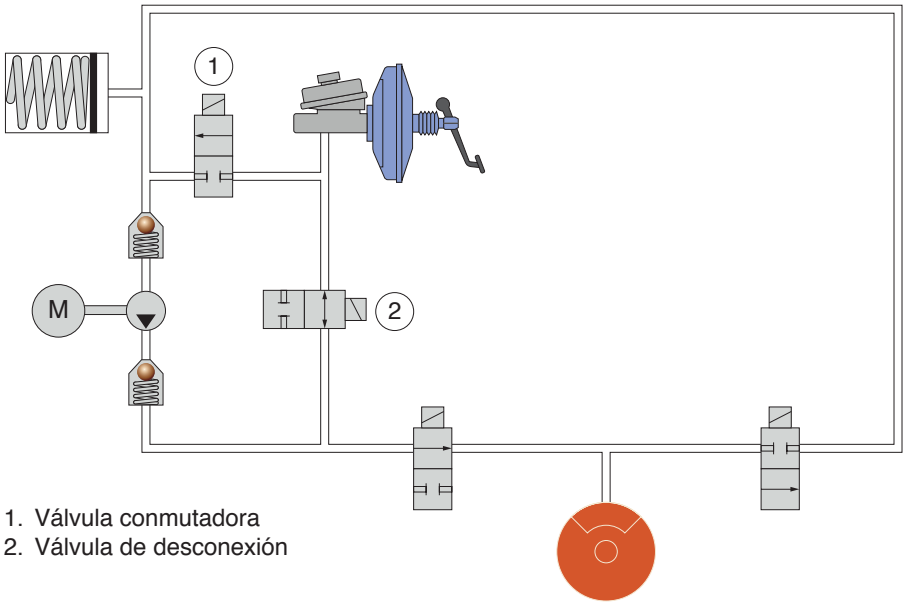
Cuando en un vehículo se supera la fuerza motriz máxima transmisible, sus ruedas motrices comienzan a derrapar. El sistema de control de tracción sobre los frenos evita que las ruedas motrices derrapen y como consecuencia, que pierdan tracción.

Los controles de tracción actuales combinan la intervención sobre el par motor y sobre los frenos, con lo que se logra una tracción óptima sin forzar el sistema de freno de las ruedas. En estos sistemas se desconecta el control de tracción al accionar el sistema de freno.

3.1. Constitución del sistema hidráulico

Partiendo de la constitución básica de un sistema antibloqueo de freno, se incorpora otra tubería de aspiración con una válvula conmutadora 2/2 (véase figura 10.24).

En la tubería de presión entre el cilindro maestro de freno y el freno de rueda o la válvula de entrada, se monta la válvula de desconexión 2/2 (2).

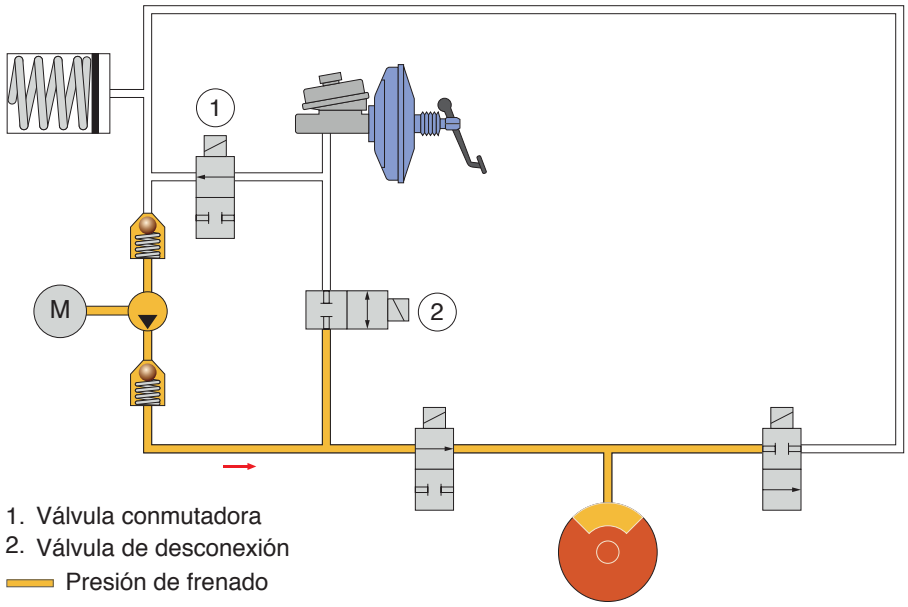


↑ **Figura 10.24.** Sistema de control de tracción sobre los frenos simplificado.

Posición de regulación

Al actuar el control de tracción sobre los frenos, la válvula de conmutación (1) de la tubería de aspiración de la bomba de alta presión se abre (el módulo la excita y cambia de posición).

La electroválvula 2 está activada por la unidad de control y cambia de posición, cerrando el circuito (véase figura 10.25). La bomba de alta presión inicia su funcionamiento y la presión de frenado se aplica al freno de la rueda que derrapa.



↑ **Figura 10.25.** Posición de regulación del control de tracción.

3.2. Funcionamiento del sistema

La diferencia de velocidad que se origina entre la banda de rodadura del neumático y la calzada se denomina pérdida de tracción. La pérdida de tracción puede hacer imposible el inicio del desplazamiento en condiciones de baja adherencia (nieve, lodo, hielo, etc.).

Cuando se produce una pérdida de tracción excesiva, la unidad de control del ABS lo advierte gracias a los captadores de giro de las ruedas. Esta tiene memorizados unos valores límites de derrapaje en función de la velocidad. Si se sobrepasan estos parámetros, interviene la unidad de control y regula las actuaciones del sistema.

Intervención en la potencia del motor

La unidad de control del ABS para el control de tracción está comunicada a través de la red de datos y provoca una reducción de par motor. El parámetro de control que se emplea es el de la rueda con coeficiente de adherencia más bajo, es decir, la rueda que derrapa primero.

La reducción del par, por parte de la gestión del motor, es específica de cada modelo; pero en general actúa sobre:

- El encendido (retardando el punto del encendido).
- La alimentación del combustible.
- La mariposa de gases (acelerador electrónico).

Intervención sobre los frenos

El sistema aumenta el par de tracción en la rueda que no derrapa, actuando y frenando esta.

La unidad de control activa el freno de la rueda que resbala, y el diferencial compensa el par a la rueda contraria.

El sistema dispone de un dispositivo de seguridad para evitar sobrecalentamientos por su funcionamiento excesivo (por ejemplo, subiendo un puerto con nieve).

saber más

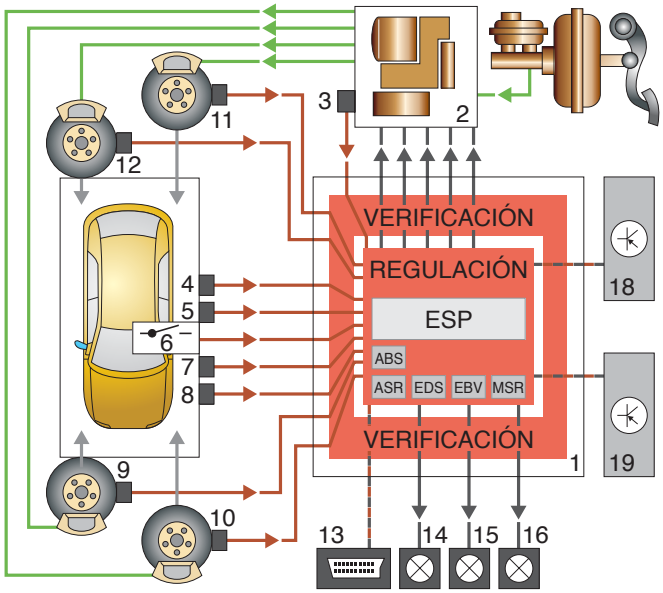
El control de tracción puede suplir la función del diferencial autoblocante.

4. Programa electrónico de estabilidad

↑ **Figura 10.26.** ESP de TRW.

El programa electrónico de estabilidad constituye una ampliación de los sistemas activos de seguridad en la conducción, sistema antibloqueo de freno y control de tracción. El programa actúa en situaciones críticas de conducción y realiza intervenciones selectivas en los frenos ayudando a corregir y restablecer la estabilidad dinámica del vehículo. El programa electrónico de estabilidad también se conoce como:

- **CDS:** Controle Dynámique Stabilité.
- **ESC:** Electronic Stability Control.
- **ESBS:** Electronic Stability Braking System.
- **DSC:** Dynamic Stability Control.
- **PSM:** Porsche Stability Management.

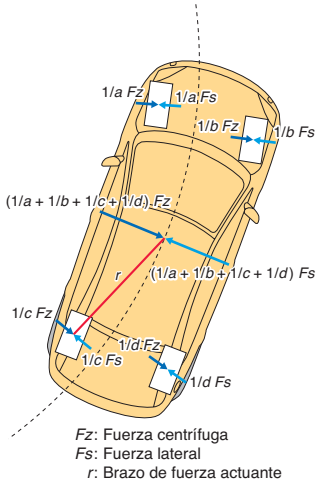


1. Unidad de control para ABS con EDS / ASR / ESP
2. Unidad hidráulica con bomba de precarga
3. Transmisor de presión de frenado
4. Transmisión de aceleración transversal
5. Transmisor de la magnitud de viraje
6. Pulsador para ASR / ESP
7. Transmisor goniométrico de dirección
8. Conmutador de luz de freno

9-12. Sensores de régimen

13. Cable para diagnósticos
14. Testigo luminoso para sistema de frenos
15. Testigo luminoso para ABS
16. Testigo luminoso para ASR / ESP
17. Intervención en la gestión del motor Red CAN-bus
18. Intervención en la gestión del cambio Red CAN-bus (solo vehículos automáticos)

↑ **Figura 10.27.** Circuito de regulación del programa electrónico de estabilidad ESP®.



↑ **Figura 10.28.** Fuerzas transversales.

El programa electrónico de estabilidad toma como referencia, además de los parámetros normales del sistema de freno antibloqueo, los siguientes factores dinámicos:

Aceleración transversal

Al tomar una curva, la inercia de las masas provoca, para el conductor y los ocupantes, una fuerza centrífuga que actúa sobre todo el vehículo. Si dicha fuerza es muy alta, el vehículo puede salirse de la curva.

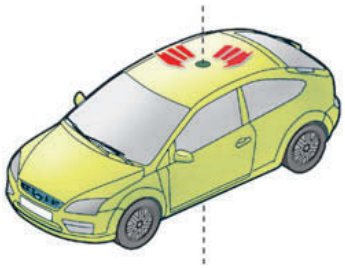
La magnitud de la fuerza centrífuga depende de la masa del vehículo y de la aceleración que actúa en sentido transversal, en dirección al desplazamiento.

Momento de derrape

En las curvas, las fuerzas transversales actúan sobre todas las ruedas del vehículo. Estas fuerzas intervienen individualmente sobre cada rueda y están formadas por la fuerza centrífuga que se ha descrito en el apartado anterior y la fuerza de guiado lateral que actúa en sentido contrario.

Si en una rueda la fuerza centrífuga (Fz) supera la fuerza lateral (Fs), la fuerza centrífuga restante y el brazo de fuerza (r) actúan sobre el centro de gravedad del vehículo y generan un par de fuerzas o un momento de guiñada.

Este par tiende a hacer que el vehículo gire en torno a su eje vertical (véase figura 11.29). El par generado se denomina par de derrapaje o guiñada.



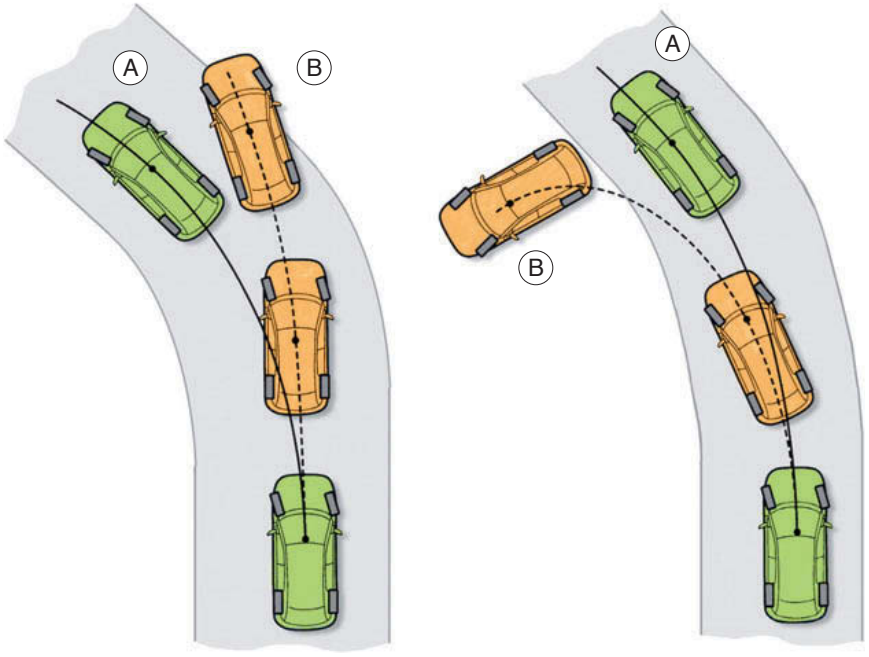
↑ **Figura 10.29.** Momento de giro.

Radio del ángulo del eje vertical

El radio del ángulo del eje vertical representa la velocidad con que gira el vehículo sobre su eje vertical.

En un **subviraje,** el vehículo describe un radio de curva mayor que el ángulo de giro de las ruedas delanteras.

En el **sobreviraje,** el vehículo describe un radio de curva menor que el que le correspondería al ángulo de giro de las ruedas delanteras.



A. Dirección marcada por el conductor
B. Dirección real del vehículo

↑ **Figura 10.30.** Radio de ángulo del eje vertical.

4.1. Constitución del programa electrónico de estabilidad

El control electrónico de estabilidad emplea los elementos del sistema antibloqueo de freno y además dispone de sensores específicos del programa electrónico de estabilidad, como:

- Sensor de giro del volante (optoelectrónico o magnetorresistivo).
- Sensor de aceleración (acelerómetro capacitivo).
- Sensor de derrapaje piezoeléctrico.
- Sensor de presión del circuito de freno (capacitivo o piezoeléctrico).
- Sensor de recorrido del pedal de freno (montado en algunos modelos).

↑ **Figura 10.31.** Principales componentes del programa electrónico de estabilidad.

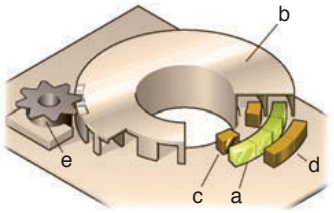
Sensor de giro del volante

Para identificar la posición del volante se utilizan principalmente dos tipos de sensores: el optoelectrónico y el magnetorresistivo.

Sensor optoelectrónico de giro del volante

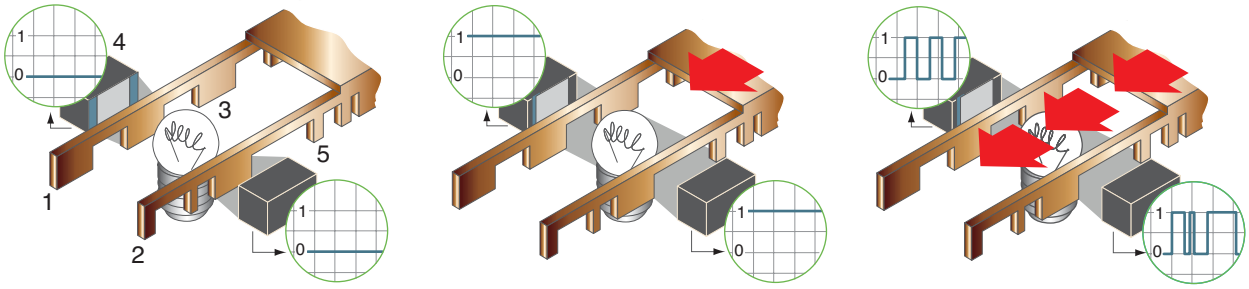
Explora, mediante barreras de luz, un disco con segmentos unidos firmemente al eje de dirección. La exploración se realiza sin establecer contacto con el disco. El sensor mide el giro del volante de dos formas:

- En la primera medición, informa a la unidad de control ABS/ESP de las variaciones angulares del volante. Esta calcula la posición de marcha en línea recta de la dirección con ayuda de las señales de otros sensores del vehículo.
- En la segunda medición, el sensor transmite a la unidad de control una señal específica para cada posición del volante (referido a una vuelta). Con las dos señales del sensor queda definida la posición del volante y la velocidad de desplazamiento al girarlo.



a. Fuente de luz
b. Disco codificador
c + d. Sensores ópticos
e. Contador de vueltas completas

↑ **Figura 10.32.** Sensor optoelectrónico.



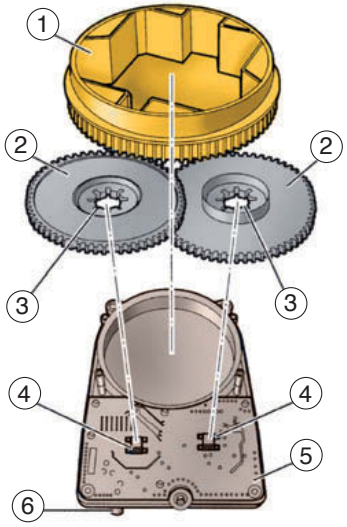
↑ **Figura 10.33.** Funcionamiento del sensor optoelectrónico.

Sensor magnetorresistivo

El sensor magnetorresistivo emplea el mismo principio de funcionamiento que los sensores activos. El sensor dispone de dos imanes permanentes, cada uno de los cuales está unido al eje de la dirección mediante un engranaje de dentado recto.

La relación de desmultiplicación de ambos engranajes es diferente y cada posición del volante supone una posición concreta de los imanes entre sí.

Las señales del sensor se pueden enviar a la unidad de control del ABS/ESP directamente o bien a través de la red CAN.



1. Arrastrador (solidario con el eje de la dirección)
2. Rueda dentada
3. Imán
4. Resistencia magnetorresistiva
5. Electrónica de evaluación
6. Conexión eléctrica

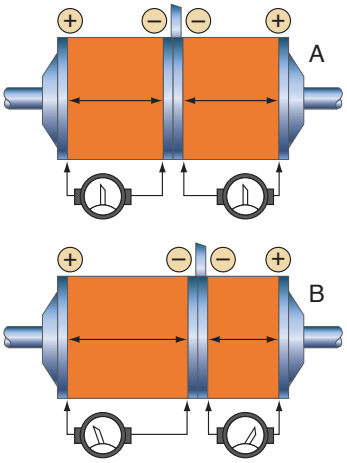
→ **Figura 10.34.** Sensor magnetorresistivo.

Sensor de aceleración (acelerómetro capacitivo)

El acelerómetro emplea el principio de variación de capacitancia. Consta de dos placas de la misma polaridad (véase figura 10.35 A). En el centro se coloca una placa cargada con polaridad inversa colocada de forma móvil. Si se somete a una aceleración o deceleración, su masa le obliga a desplazarse.

El desplazamiento de la placa produce una variación en la relación de carga entre las dos parejas de placas (véase figura 10.35 B). El acelerómetro dispone de una electrónica integrada que transforma esa variación en una magnitud medible y procesable por la unidad de control del ABS/ESP.

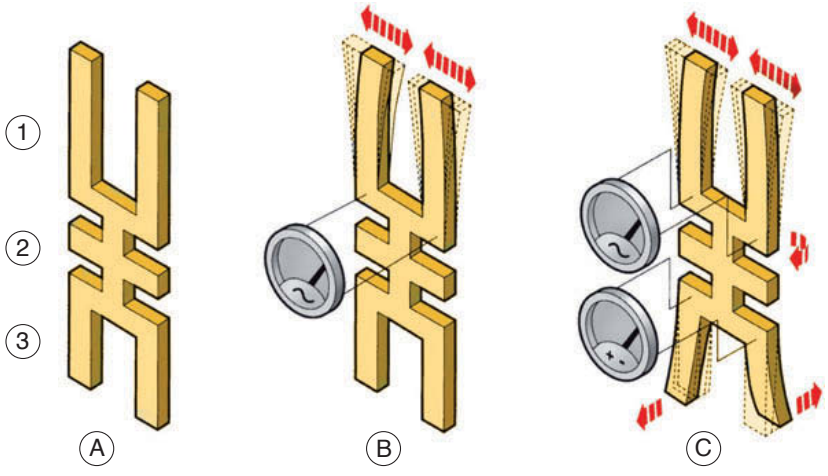
El acelerómetro puede medir aceleraciones transversales o longitudinales en función de su posición de montaje.



↑ **Figura 10.35.** Acelerómetro capacitivo.

Sensor de derrape piezoeléctrico

El principio de funcionamiento está basado en el comportamiento de un diapasón doble de cristal piezoeléctrico (véase figura 10.36). El lado de excitación de este diapasón se somete a una oscilación resonante de 11 kHz con ayuda de tensión alterna. El lado de medición en el diapasón pone una frecuencia de resonancia de 11,33 kHz y por esa razón no oscila (figura B). Cuando el sensor se torsiona (figura C), como consecuencia de un movimiento giratorio, se provoca un cambio en la distribución de cargas del elemento piezoeléctrico. La señal que emite el sensor es registrada y transformada por la electrónica integrada del sensor. La señal se transmite la unidad de control del ABS/ESP.



1. Diapasón de excitación 2. Fijación 3. Lado de medición

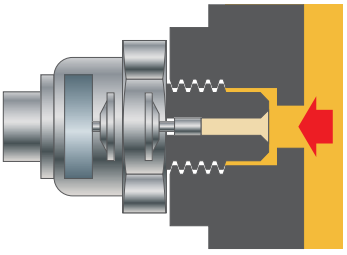
↑ **Figura 10.36.** Modo de funcionamiento.

El sensor de derrapaje se puede montar conjuntamente con el sensor de aceleración transversal. Si bien se debe prestar especial atención al montaje, una pequeña variación en la posición o lugar de montaje, puede provocar fallos en el sistema.

Sensor de presión de frenado

Los sensores de presión de frenado pueden formar parte de la unidad hidráulica de mando, o se pueden colocar en el cilindro de la bomba de frenos.

Los sensores de presión informan al módulo ABS/ESP de la presión hidráulica en el circuito de frenado. Los sensores más empleados son sensores de presión capacitivos y sensores piezoeléctricos.



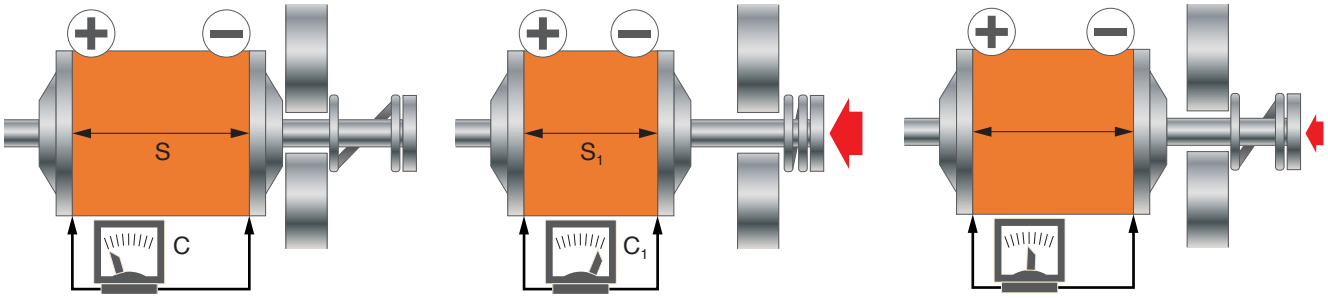
↑ **Figura 10.37.** Sensor de presión capacitivo.

↑ **Figura 10.38.** Sensor de presión de frenado.

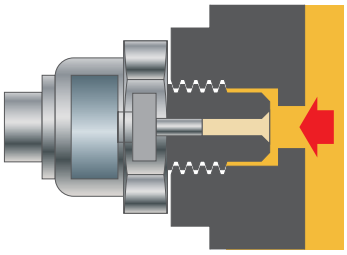
Sensor de presión capacitivo

Este sensor emplea el mismo principio de funcionamiento que el acelerómetro capacitivo.

La presión hidráulica desplaza una placa móvil (véase figura 11.39). Al reducirse las distancias entre las placas, se modifica también la relación de cargas entre ellas. La señal resultante se registra y se procesa por la unidad de control del ABS/ESP.



↑ **Figura 10.39.** Funcionamiento del sensor de presión capacitivo.



↑ **Figura 10.40.** Sensor de presión piezoeléctrico.

Sensor de presión piezoeléctrico

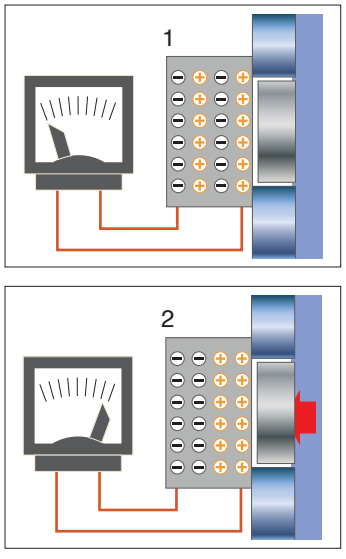
Este sensor dispone de un elemento piezoeléctrico conectado al circuito de freno y recibe presión a través de una membrana. Esta se deforma con la presión y transmite la deformación al elemento piezoeléctrico modificando la distancia de cargas. La magnitud de la variación de las cargas se procesa en la unidad de control del ABS/ESP.

Sensor de recorrido del pedal de frenos

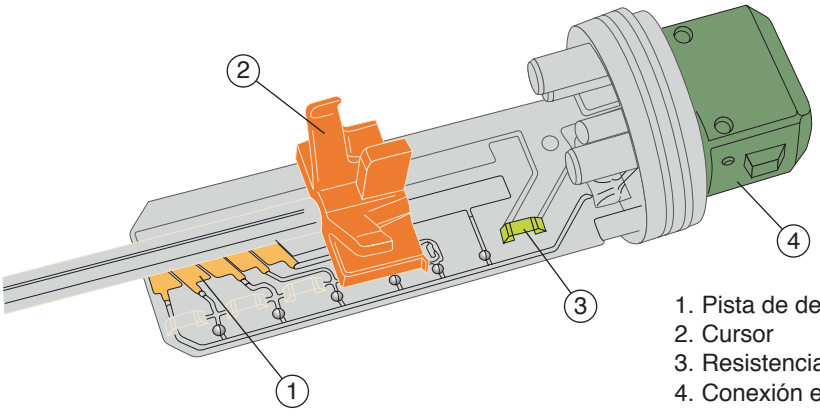
El sensor de recorrido del pedal de freno se monta en sistemas de freno antibloqueo con retorno abierto y en sistemas de control de tracción de frenos neumáticos, entre otros.

El sensor dispone de dos pistas de deslizamiento, una de ellas subdividida en siete segmentos conectados cada uno de ellos a una de las dos conexiones eléctricas del sensor mediante una resistencia. La otra pista es continua y está conectada a la otra conexión del sensor.

El contacto deslizante enlaza las resistencias en serie en función de la posición del pedal. Con ello se obtiene una variación de la resistencia en siete etapas a lo largo del recorrido completo del pedal.



↑ **Figura 10.41.** Funcionamiento del sensor de presión piezoeléctrico.



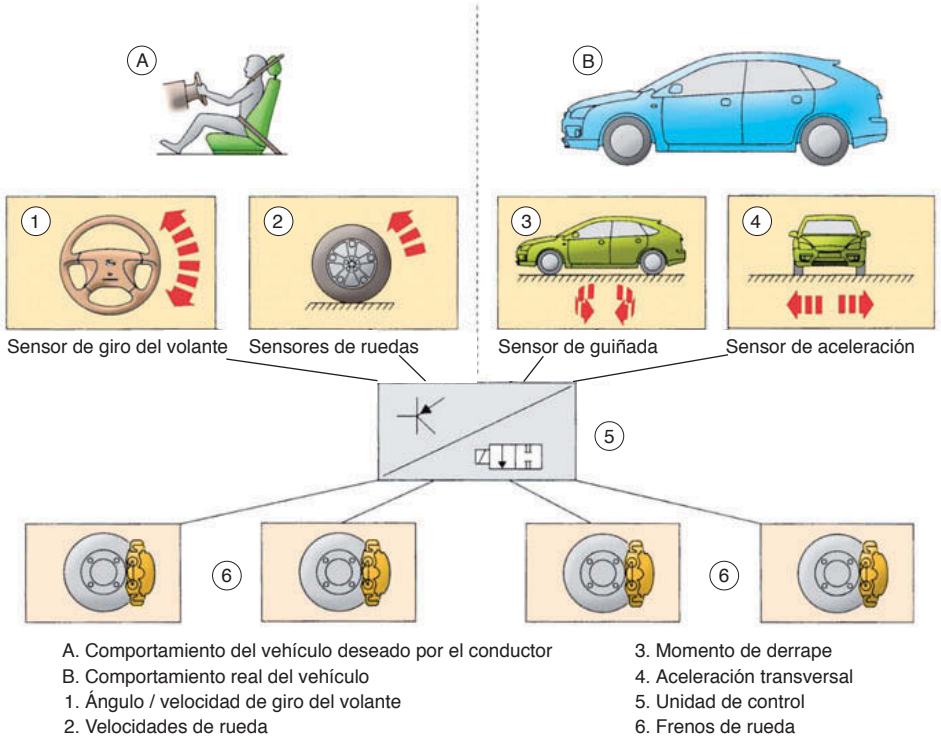
1. Pista de deslizamiento
2. Cursor
3. Resistencia
4. Conexión eléctrica

↑ **Figura 10.42.** Sensor de recorrido del pedal de frenos.

4.2. Funcionamiento del ESP

El control de estabilidad utiliza gran parte de los componentes del ABS, pero necesita mayor número de sensores.

↑ **Figura 10.44.** ABS Bosck 5.7 con ESP de Bosch.



A. Comportamiento del vehículo deseado por el conductor
B. Comportamiento real del vehículo
1. Ángulo / velocidad de giro del volante
2. Velocidades de rueda
3. Momento de derrape
4. Aceleración transversal
5. Unidad de control
6. Frenos de rueda

↑ **Figura 10.43.** Funcionamiento del módulo ESP.

La unida de control del programa electrónico de estabilidad procesa más información que el sistema de freno antibloqueo. El sistema utiliza un sensor para medir el ángulo de giro y la velocidad del volante (1), un sensor para medir las aceleraciones y deceleraciones (4) y un sensor para el momento de derrapaje (3) (véase figura 10.43). El programa electrónico de estabilidad también dispone del sensor de revoluciones de las ruedas, sensor (2).

↑ **Figura 10.45.** Botón de desconexión del ESP

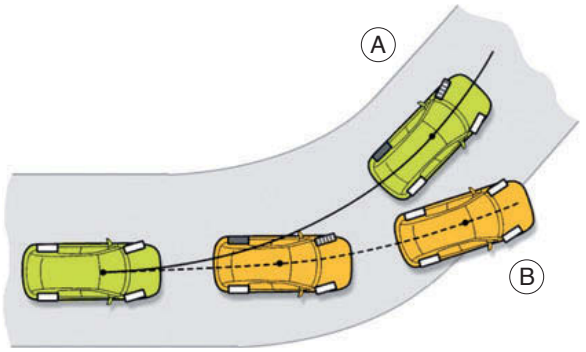
Esta unidad determina las trayectorias que el conductor desea seguir, partiendo de la velocidad de las ruedas (sensores de ruedas) y del ángulo de giro del volante (sensor del volante), y determina la aceleración transversal correspondiente en función de la velocidad y el momento de derrape. Los valores que recibe la unidad de control los compara con los valores preestablecidos y reales.

Si la aceleración transversal y el momento de derrape que la unidad de control recibe difieren en gran medida de los valores preestablecidos del vehículo en la carretera, el vehículo tiene un comportamiento inestable. La unidad de control del ABS/ESP actuará selectivamente en los frenos de ruedas que estime conveniente para corregir la trayectoria del vehículo. También actuará sobre el motor para reducir la potencia y el par motor. La intervención del conjunto en el sistema de freno y en el par motor permite estabilizar el vehículo.

Funcionamiento del programa electrónico de estabilidad en un subviraje

En un subviraje (véase figura 10.46), se produce una intervención sobre los frenos de las ruedas del interior de la curva.

La rueda trasera izquierda se frena bruscamente, lo que produce un deslizamiento. Con el deslizamiento de la rueda se reduce la fuerza de guiado lateral del eje trasero y la fuerza centrífuga que ahora actúa gira la parte trasera del vehículo corrigiendo la trayectoria hacia el interior de la curva.



A. Trayectoria con intervención del sistema

B. Trayectoria sin intervención del sistema

→ **Figura 10.46.** Situación de subviraje.

La rueda delantera izquierda se frena con menor fuerza que la trasera. La fuerza de frenado que transmite la rueda delantera forma, junto con el brazo de fuerza (superficie de contacto de la rueda con el centro de gravedad del vehículo), un par de giro que potencia el momento de derrapaje del tren trasero.

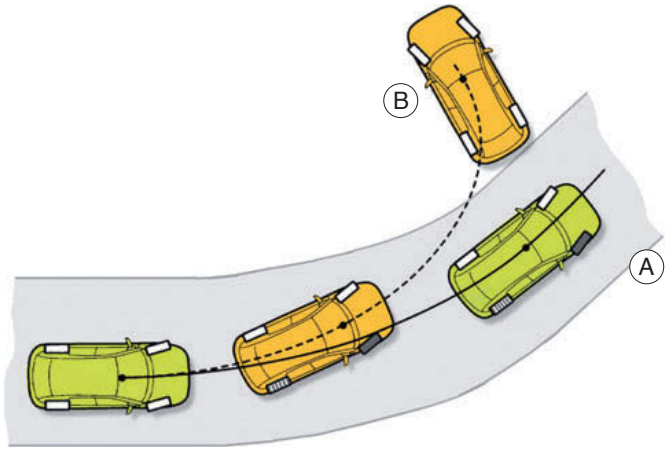
El frenado de las dos ruedas actúa conjuntamente y ayudan al vehículo a volver a la trayectoria deseada por el conductor.

Funcionamiento del programa electrónico de estabilidad en un sobreviraje

El funcionamiento en el sobreviraje es similar al explicado en el subviraje. Cuando se produce el sobreviraje, se frenan las ruedas del exterior de la curva, la rueda delantera derecha se somete a un fuerte frenado para que la rueda deslice y produzca la fuerza lateral en el eje delantero. A su vez, se frena la rueda trasera derecha, con menor fuerza, lo que provoca junto con el brazo de fuerza actuante, una reducción del momento de derrapaje existente (véase figura 10.47).

El frenado de las dos ruedas actúa estabilizando el vehículo y devolviéndolo a la trayectoria prevista por el conductor.

Cuando actúa el programa electrónico de estabilidad ESP, las regulaciones del ABS se superponen. El programa trabaja con márgenes de deslizamiento más altos que en el sistema de freno antibloqueo.



A. Trayectoria con intervención del sistema

B. Trayectoria sin intervención del sistema

→ **Figura 10.47.** Situación de sobreviraje.

5. Mantenimiento de los circuitos ABS/ESP

El mantenimiento del conjunto es similar al que se realiza en los vehículos sin ABS/ESP. Se basa en cambiar el líquido de frenos y purgar el circuito en los periodos recomendados por el fabricante.

Las averías y las reparaciones que se pueden producir son las mismas que en los circuitos normales de frenos, freno de ruedas, discos, bomba, etc., más las averías en los componentes hidráulicos adicionales (bloque hidráulico) o en los circuitos eléctricos y electrónicos (unidad de control) y en los captadores y demás componentes eléctricos.

Los componentes hidráulicos no admiten reparación, se contempla únicamente la sustitución en caso de fallo o avería del circuito.

En el caso de la centralita o unidad de control, gestionada por microprocesadores, no admite ningún tipo de reparación ni programación.

Los captadores y sensores tampoco admiten reparación, se sustituyen cuando se verifica que están defectuosos.

Las verificaciones se pueden realizar empleando los útiles para comprobar componentes individualmente y tensiones de alimentación (polímetro y osciloscopio) o utilizando equipos de diagnosis electrónicos como el KTS, Berton, etc. Estos conectan la unidad de control y chequean el circuito, comprobando todos los captadores y la memoria de las averías, lo que permite analizar la causa de un mal funcionamiento.

Una vez reparada la avería, el equipo permite borrarla de la memoria de averías de la unidad de control.

caso práctico inicial

La avería producida en sistema de freno del vehículo de Alberto es permanente ya que el conector está suelto. Esto se observa tras realizar el borrado de la memoria de averías, y observar que permanecen activas.

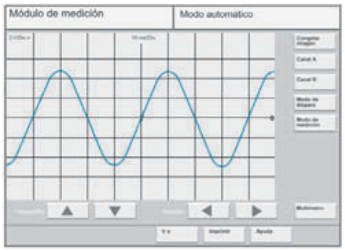
5.1. Comprobaciones con polímetro y osciloscopio

Empleando el circuito eléctrico de un circuito ABS TEVES MK 20.

Con el polímetro se puede comprobar:

- La alimentación y la masa de la unidad de control: bornes + (9 y 25) y – (8 y 24)
- El interruptor del pedal de freno, borne (12 y masa).
- La continuidad de los captadores y la resistencia interna de cada uno. Esta ronda entre 1.000 y 1.500 Ω, en caso de captadores inductivos.

Con el osciloscopio se puede medir la señal sinusoidal que genera el captador. La señal dependerá de la velocidad de la rueda, y se tendrá que tener en cuenta la frecuencia y amplitud de la señal (véase figura 10.48).



↑ **Figura 10.48.** Verificación de la señal de un sensor de régimen con osciloscopio.

También se debe comprobar, con una galga de espesores, la distancia entre el captador y el entrehierro, que será de 0,9 ± 0,4 mm. En algunos modelos esta distancia no es regulable.

5.2. Verificaciones con equipos de diagnosis

El propio sistema del ABS/ESP se autochequea en su funcionamiento. Cuando detecta una avería, enciende el testigo en el cuadro de mandos y desactiva el circuito ABS/ESP. El circuito frenará con toda normalidad pero sin la intervención del sistema ABS/ESP.

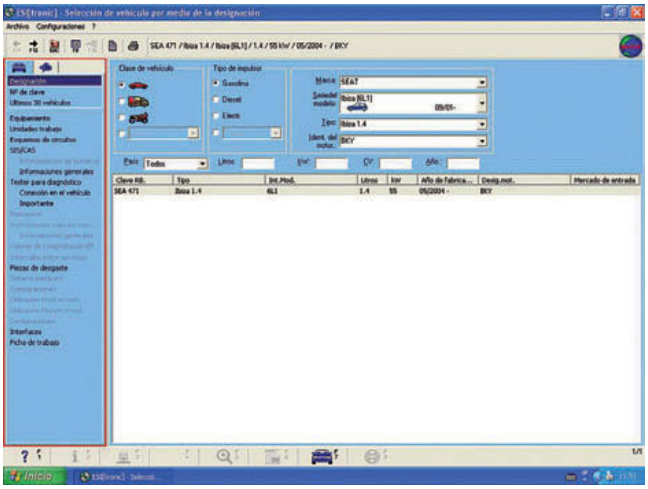
Para localizar la avería memorizada en la unidad de control del sistema, se debe conectar el vehículo a un equipo de diagnosis, ya sea del fabricante o mediante un equipo universal tipo KTS de Bosch, Berton, etc.

El proceso de localización de averías con el equipo de diagnosis KTS de Bosch, en un vehículo del fabricante SEAT al que se enciende la luz del ESP, se puede realizar de la siguiente manera:

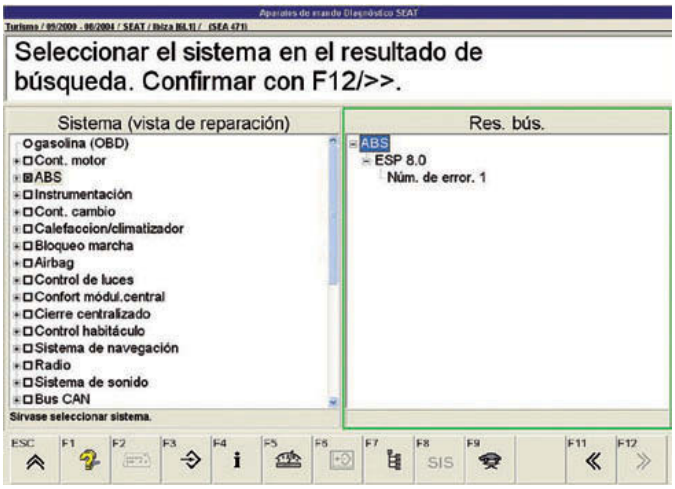
1. Conectar el equipo al vehículo con el cable de conexión ISO «OBD».

2. Identificar el vehículo en el equipo y cargar su equipamiento (véase figura 10.49).

3. Realizar la lectura de la memoria de averías (véase figura 10.50).



↑ **Figura 10.49.** Identificación del vehículo.

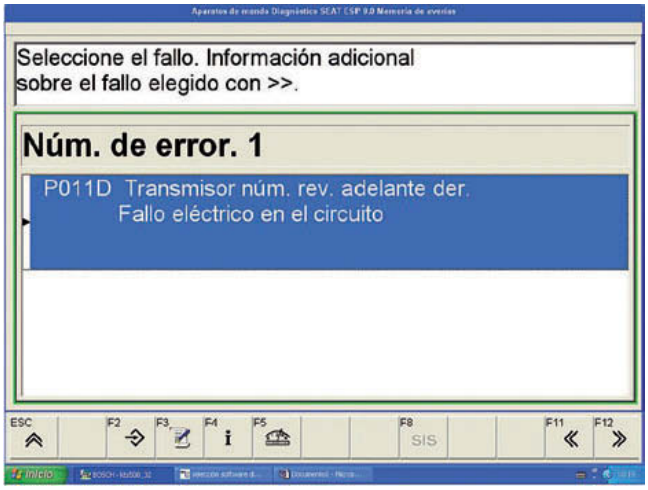


↑ **Figura 10.50.** Lectura de la memoria de averías.

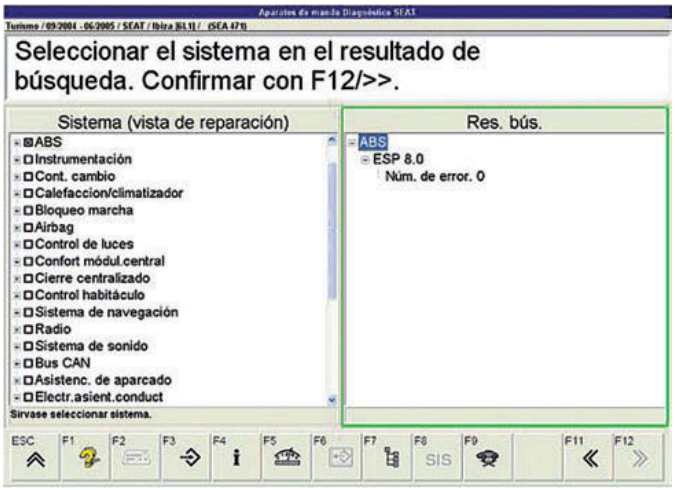
4. Una vez leída la memoria, localizamos el tipo de ABS/ESP, es un Bosch 8.0. En la unidad de control se detecta una avería memorizada, pero en esta pantalla no se puede conocer cuál es. Pinchando en el error o avería se abre la pantalla que nos indica el fallo (véase figura 10.51); en este caso, indica un fallo eléctrico en el circuito del captador del número de revoluciones de la rueda delantera derecha.

5. Sustituir el captador y borrar la memoria de averías.

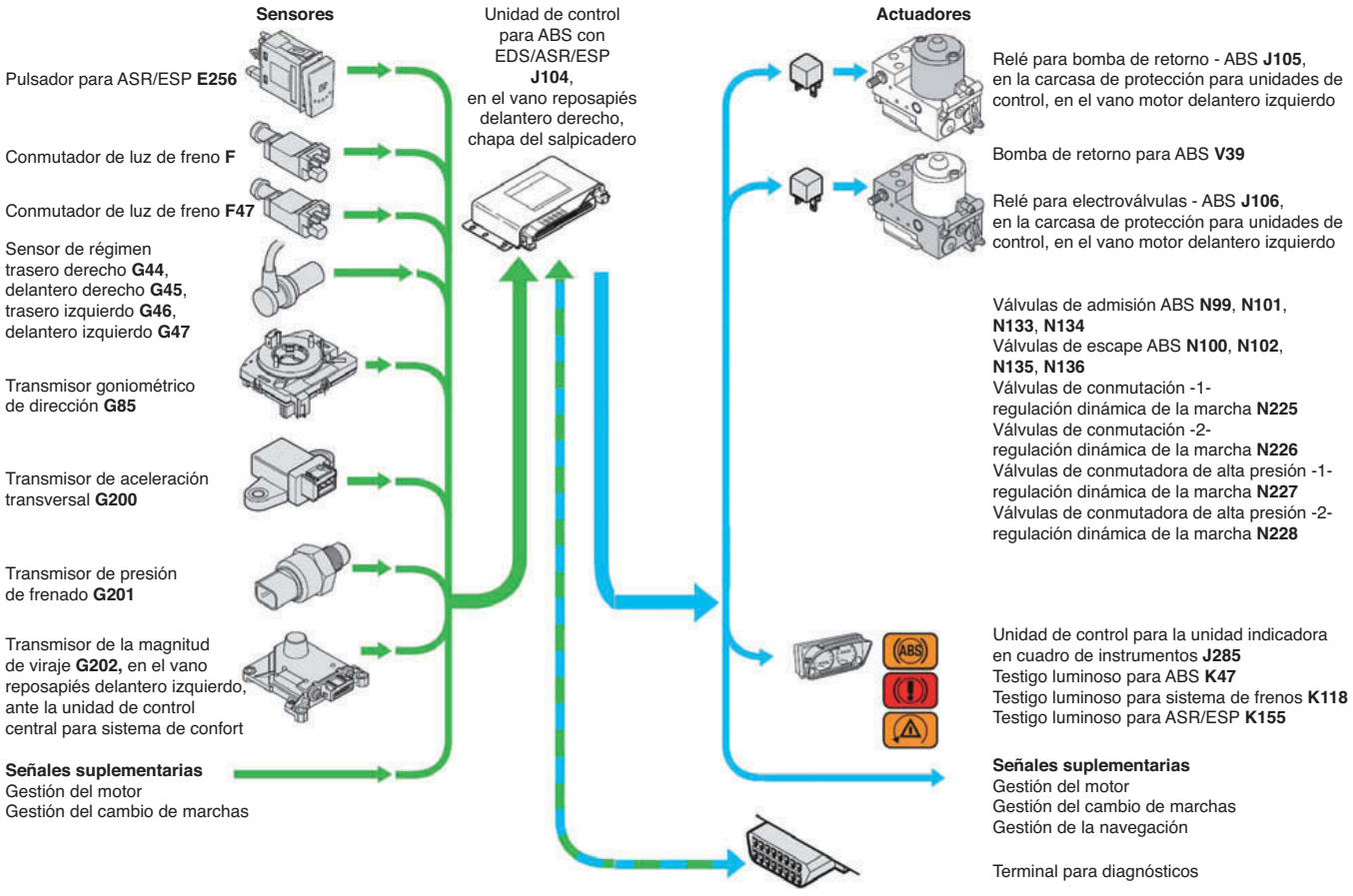
6. Para finalizar, entrar nuevamente en el modulo y verificar que la memoria de averías está borrada (véase figura 10.52).



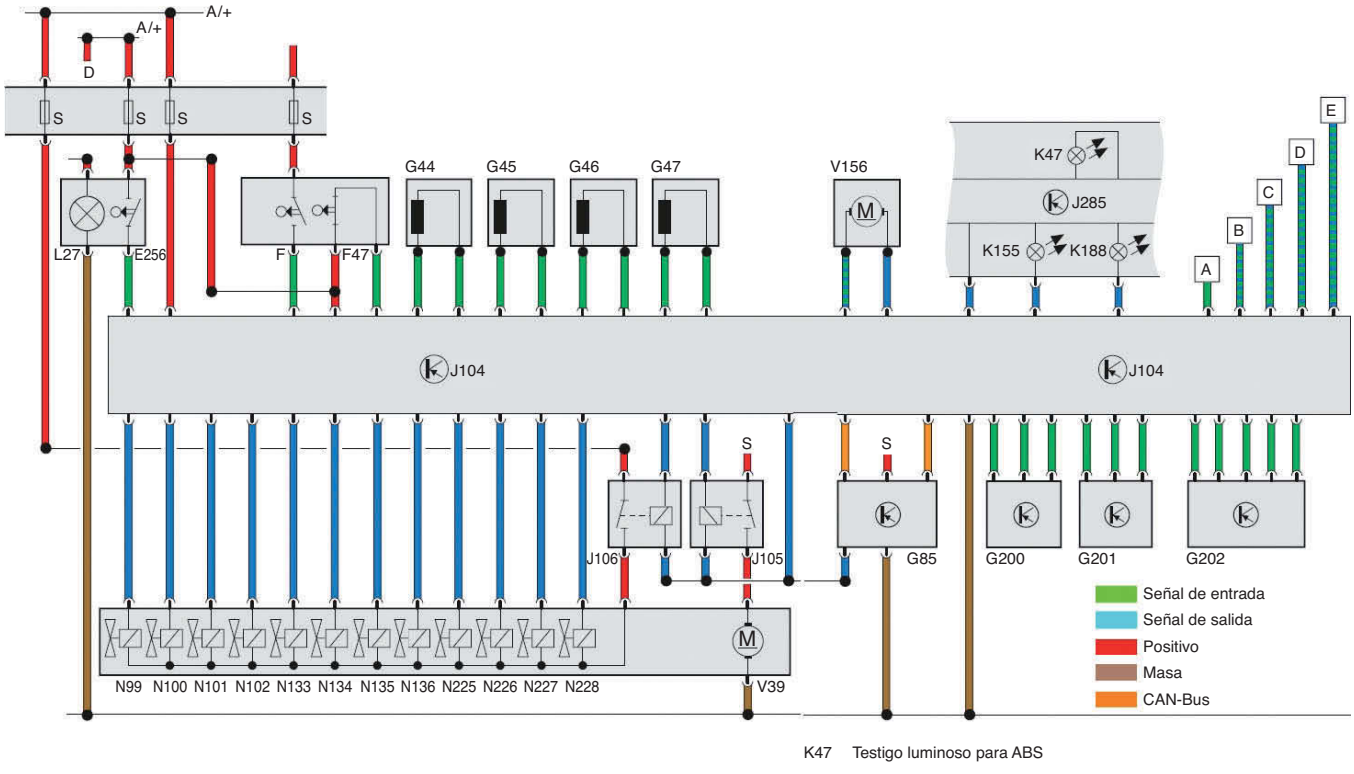
↑ **Figura 10.51.** Error 1 del captador delantero.



↑ **Figura 10.52.** Memoria de averías borrada.



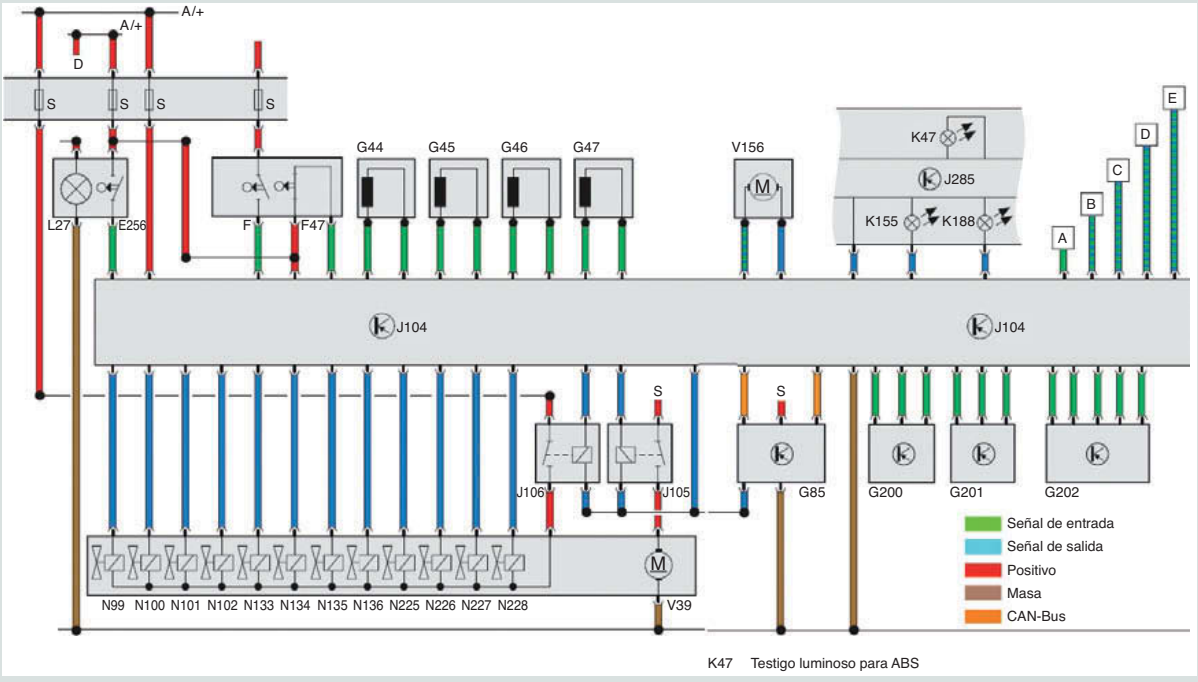
↑ **Figura 10.53.** Sensores y actuadores de un ESP (fuente VW).



↑ **Figura 10.54.** Esquema eléctrico de un ABS/ESP (fuente VW).

ACTIVIDADES FINALES

1. Explica las diferentes fases de funcionamiento del ABS, la generación, el mantenimiento, la reducción y la generación de presión a través de la bomba.
2. ¿Cuál es el principio físico del sensor magnetorresistivo? Explícalo.
3. Describe la fase de posición de regulación con el sistema de control de tracción sobre los frenos.
4. Enumera los elementos que componen el programa electrónico de estabilidad ESP.
5. Explica el funcionamiento del programa electrónico de estabilidad ESP en un sobreviraje.
6. ¿Cuáles son las diferencias entre un sensor de presión piezoeléctrico y uno capacitivo?
7. Explica cómo funciona el sensor de aceleración capacitivo.
8. Identifica en el esquema eléctrico los siguientes elementos:
   - Conmutador del pedal de freno.
   - Bomba de retorno para el ABS.
   - Transmisor de presión de frenado.
   - Testigo luminoso para el ABS.
   - Conmutador de luz de freno.
   - Relé de bomba para el ABS.
   - Transmisor de aceleración trasversal.
   - Sensor de régimen trasero derecho.



↑ **Figura 10.55.**

EVALÚA TUS CONOCIMIENTOS

Resuelve en tu cuaderno o bloc de notas

1. ¿Qué coeficiente de rozamiento se considera óptimo en los procesos de frenado?

a. Del 95 al 100%.

b. Del 0 al 10%.

c. Del 0 al 5%.

d. Del 15% al 22%.

2. La principal función del sistema de freno antibloqueo es evitar que:

a. Las distracciones del conductor para frenar.

b. El bloqueo y el posterior derrapaje de las ruedas al frenar.

c. El bloqueo de las ruedas del eje trasero.

d. El bloqueo de las ruedas del eje delantero.

3. ¿Qué componente del ABS mide las revoluciones de giro de las ruedas?

a. El sensor del número de revoluciones por minuto.

b. El bloque hidráulico.

c. La unidad de control.

d. El bus CAN de datos.

4. ¿Qué componente del ABS calcula la velocidad de referencia del vehículo?

a. El sensor del número de revoluciones por minuto.

b. El bloque hidráulico.

c. El módulo electrónico.

d. El bus CAN de datos.

5. ¿Qué componente del ABS libera la presión de frenado ante un bloqueo de una rueda?

a. El sensor del número de revoluciones por minuto.

b. El bloque hidráulico.

c. La unidad de control.

d. El bus CAN de datos.

6. La regulación del control de tracción actúa sobre:

a. La gestión de motor solamente.

b. La potencia del motor y sobre los frenos.

c. Sobre los frenos solamente.

d. Sobre la gestión del diferencial.

7. El sistema ABS-ESP actúa selectivamente sobre:

a. Los frenos de la rueda individualmente y sobre la gestión del motor.

b. Los cuatro frenos de las ruedas conjuntamente.

c. La gestión del motor.

d. Es el mismo circuito que el ABS y funciona de igual manera.

8. En un sistema de frenos ABS Teves MK 20, ¿qué distancia debe existir entre un captador de ABS y su entrehierro?

a. De 0,9 a 4 mm.

b. De 1 a 2 mm.

c. De 0 a 1 mm.

d. De 0,9 a 0,4 mm.

9. ¿Cuál de los siguientes componentes no es montado por programa electrónico de estabilidad ESP?

a. El transmisor de aceleración trasversal.

b. Conmutador del pedal de freno.

c. El transmisor goniométrico de la dirección.

d. El transmisor de altura.

10. Cuando el vehículo describe un radio de curva menor que el que le correspondería al ángulo de giro de las ruedas delanteras se produce…

a. Subviraje.

b. Sobreviraje.

c. Cabeceo.

d. Balanceo.

PRÁCTICA **PROFESIONAL**

HERRAMIENTAS

- Herramientas manuales del electromecánico

MATERIAL

- Captador de giro nuevo

Sustitución del captador de giro de rueda de un vehículo con ABS/ESP

OBJETIVOS

Sustituir un captador de giro de rueda deteriorado por uno nuevo.

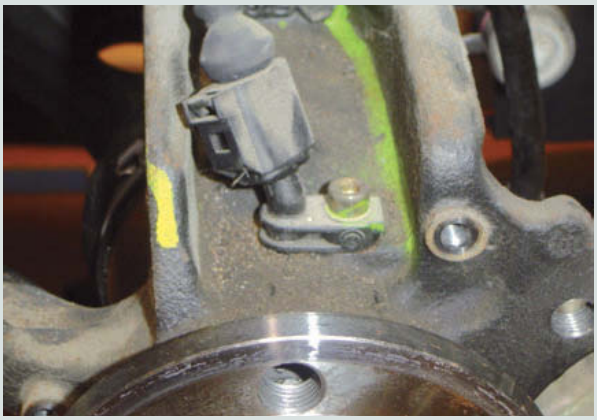
PRECAUCIONES

- Apretar los tornillos con la llave dinamométrica al par indicado por el fabricante.

DESARROLLO

1. Extraer la rueda del vehículo. Con el conjunto libre, extraer el protector de chapa para poder acceder al conjunto donde está montado el captador (véanse las figuras 10.56 y 10.57).

↑ **Figura 10.56.** Quitar la chapa protectora.



↑ **Figura 10.57.** Captador montado en la mangueta.

2. Aflojar los tornillos de fijación del captador y desconectar la clema de conexión. Extraer la pinza con las pastillas del disco.

↑ **Figura 10.58.** Tornillo de fijación del captador.

↑ **Figura 10.59.** Desconexión de la clema.

3. El proceso de montaje del captador se realiza invirtiendo el proceso de desmontaje.

   En algunos modelos habrá que tener en cuenta el ajuste de separación del captador con la rueda fónica.

Comprobación del sistema de freno ABS/ESP con un equipo de diagnosis

HERRAMIENTAS

- Equipo de diagnosis KTS de Bosch

MATERIAL

- Vehículo con sistema de freno ABS/ESP

OBJETIVOS

Realizar la comprobación del sistema de freno ABS/ESP de un vehículo con un equipo de diagnosis.

PRECAUCIONES

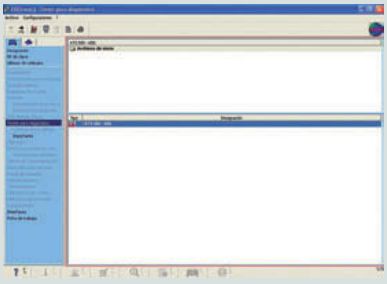
- Realizar la diagnosis con la batería cargada.
- No manipular ningún elemento durante la diagnosis.

DESARROLLO

Para el desarrollo de la práctica seguiremos este proceso:

1. Conectar el equipo de diagnosis (KTS de Bosch) mediante la conexión de diagnóstico OBD.
2. Entrar el programa Esitronic de Bosch y seleccionar «téster para diagnóstico».
3. Seleccionar el equipo de diagnosis.

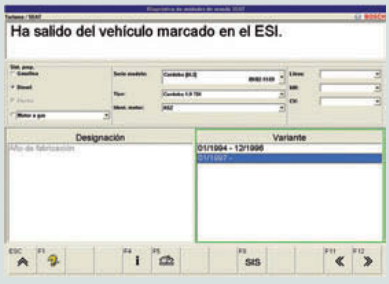
↑ **Figura 10.60.** Selección del «tester para diagnostico».



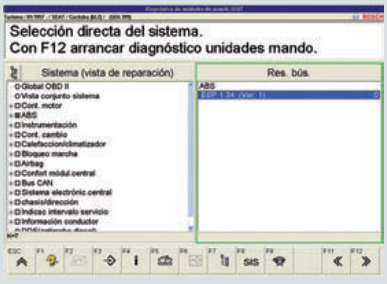
↑ **Figura 10.61.** Selección del equipo de diagnosis (KTS 650).

↑ **Figura 10.62.** Selección de la marca del vehículo.

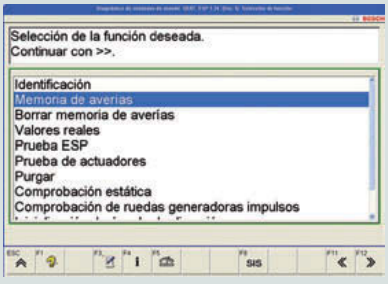
4. Después, seleccionar la marca y modelo del vehículo.
5. Seleccionar el sistema a diagnosticar y realizar un análisis de la memoria de averías.



↑ **Figura 10.63.** Selección del modelo del vehículo.



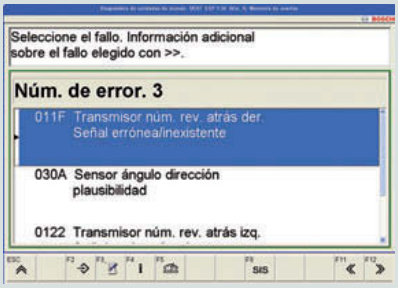
↑ **Figura 10.64.** Selección directa del sistema.



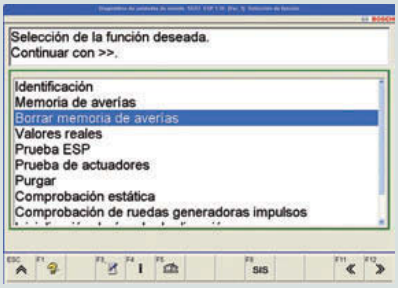
↑ **Figura 10.65.** Análisis de la memoria de averías.

PRÁCTICA **PROFESIONAL** (cont.)

6. Una vez identificadas las averías memorizadas, realizar el borrado de las mismas.



↑ **Figura 10.66.** Averías identificadas.



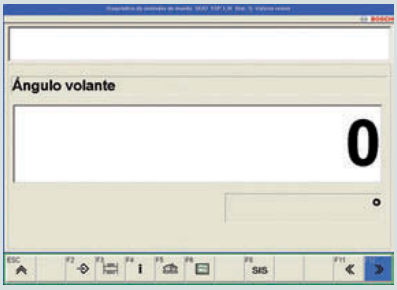
↑ **Figura 10.67.** Borrado de la memoria de averías.

↑ **Figura 10.68.** Comprobación del borrado de las averías memorizadas.

7. Después, realizar la medición de valores reales.
   - Apertura o cierre del interruptor de luz de freno.
   - Ángulo del volante (sin girar y girándolo).
   - Valores del sensor de tasa de rotación, del sensor de aceleración trasversal, del transmisor de presión.
   - Apertura o cierre del interruptor del ESP.

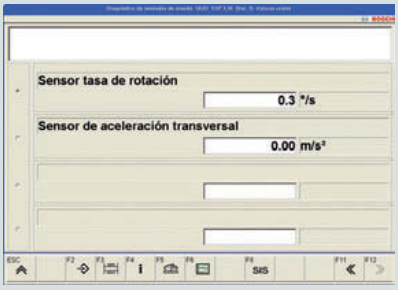
↑ **Figura 10.69.** Identificación de la posición del interruptor de luz de freno (abierto).

↑ **Figura 10.70.** Identificación de la posición del interruptor de luz de freno (cerrado).

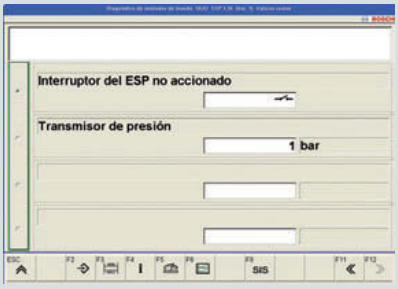


↑ **Figura 10.71.** Posición del volante (centrado).

↑ **Figura 10.72.** Posición del volante (girado a 178°).



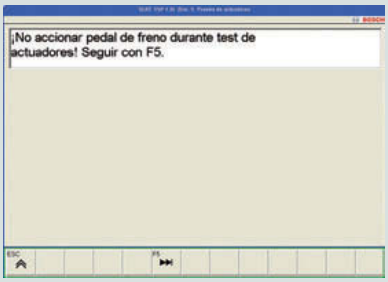
↑ **Figura 10.73.** Valor de tasa del sensor de rotación y del sensor de aceleración transversal.



↑ **Figura 10.74.** Posición del interruptor del ESP y valor del transmisor de presión.

8. Una vez comprobados los valores reales y cotejados con los datos del vehículo, realizar una prueba de actuadores.

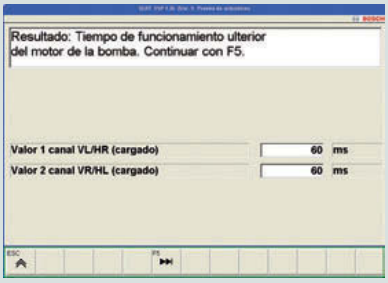
↑ **Figura 10.75.** Valor del transmisor de presión.



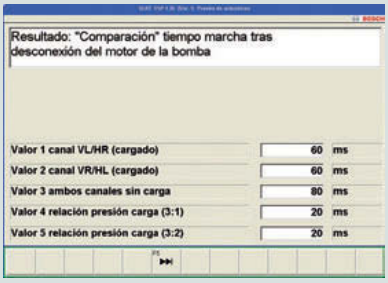
↑ **Figura 10.76.** Inicio de la prueba de actuadores.

↑ **Figura 10.77.** Prueba de la bomba.

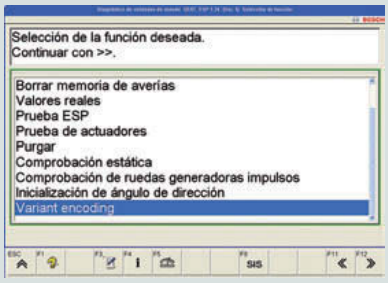
9. Observar los valores de medición de la prueba de actuadores y comprobar que el funcionamiento es el correcto.



↑ **Figura 10.78.** Valores de los canales.



↑ **Figura 10.79.** Valores de los canales.

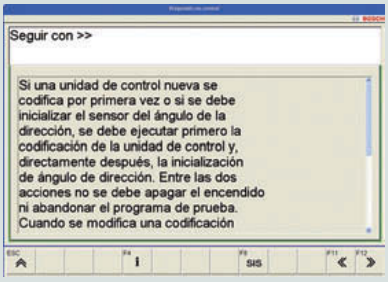


↑ **Figura 10.80.** Codificación de la unidad de control.

10. En caso de tener que sustituir la unidad de control, se procederá a realizar el codificado de la unidad de control. Para ello elegir:

- Marca del vehículo.
- Motorización.
- Tipo de vehículo.
- Caja de cambios.

Estos valores darán como resultado un código que será el que identifique y adapte la unidad al vehículo.



↑ **Figura 10.81.** Aviso antes de la codificación.

↑ **Figura 10.82.** Elección de la marca del vehículo.

↑ **Figura 10.83.** Elección de la motorización.

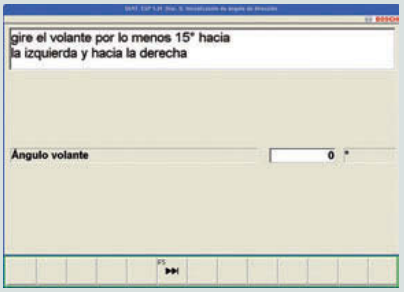
PRÁCTICA **PROFESIONAL** (cont.)

↑ **Figura 10.84.** Elección del tipo o variante del vehículo.

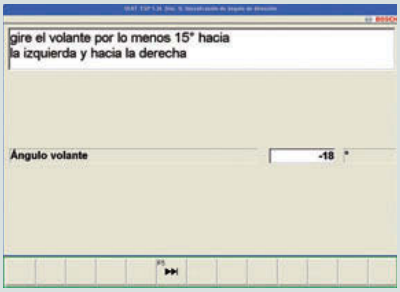
↑ **Figura 10.85.** Elección de la caja de cambios.

↑ **Figura 10.86.** Código para codificar la unidad de control (03356).

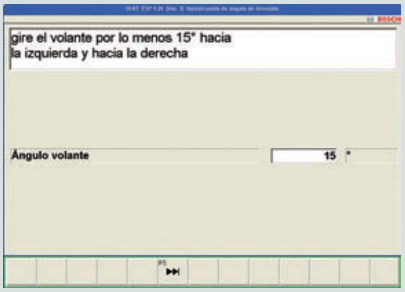
11. También, el equipo de diagnosis permite realizar el ajuste básico del captador de giro del volante (G85). Para ello, seleccionar la función y realizar la siguiente operación:
    - Girar el volante al menos 15° hacia la izquierda y hacia la derecha.
    - Centrar el volante en la posición de línea recta. Tras esto, el sensor queda calibrado.



↑ **Figura 10.87.** Giro del volante.

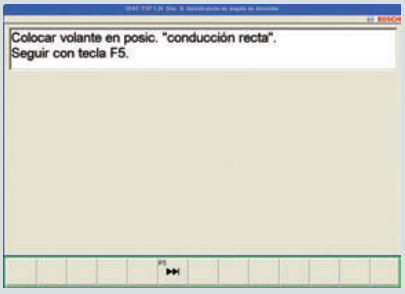


↑ **Figura 10.88.** Giro del volante.

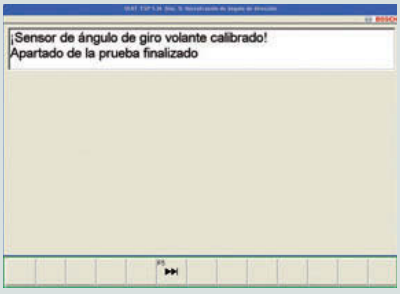


↑ **Figura 10.89.** Giro del volante.

↑ **Figura 10.90.** Estado del calibrado.



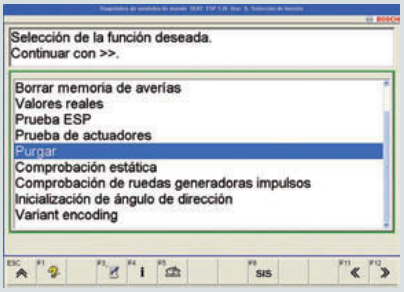
↑ **Figura 10.91.** Colocación del volante en posición de línea recta.



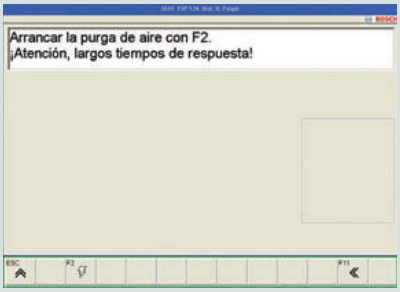
↑ **Figura 10.92.** Sensor de ángulo de giro del volante calibrado.

12. Para realizar el purgado del circuito seguiremos este proceso:

- 1. Seleccionar la opción de purga.
- 2. Pulsar F2 y comenzar el proceso de purga.
- 3. El equipo nos preguntará si hay algún elemento a verificar.
- 4. Tras esto, nos indicará el paso siguiente a realizar, abrir los tornillos de purga y comenzar el purgado.
- 5. Finalmente, cerrar el tornillo de purga y proceder igual con el resto de ruedas.

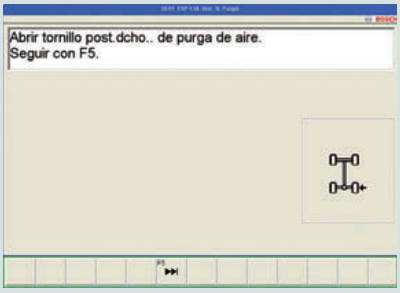


↑ **Figura 10.93.** Selección de la función de purgado.

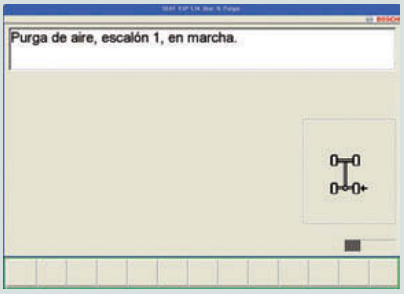


↑ **Figura 10.94.** Inicio de la purga mediante la selección de F2.

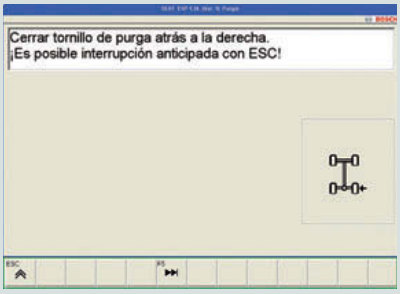
↑ **Figura 10.95.** Estado de la bomba.



↑ **Figura 10.96.** Inicio de la purga.



↑ **Figura 10.97.** Purgador abierto.



↑ **Figura 10.98.** Cierre del purgador de una rueda.

MUNDO **TÉCNICO**

Sistemas predictivos de emergencia BOSCH

***Predictive Brake Assist* PBA (asistente inteligente de los frenos). Preparado para frenar antes de que usted lo esté**

Con el *Predictive Brake Assist* PBA llega el primer sistema de seguridad al mercado europeo que procesa de forma inteligente los datos relevantes del entorno y reacciona antes de que se produzca un posible accidente.

El PBA detecta con los datos del sensor de radar del *Adaptive Cruise Control* (ACC) las situaciones que albergan un riesgo de accidente y en las que es probable que se tenga que realizar una frenada de emergencia. Si luego se produce esa situación, el PBA prepara los frenos para una posible frenada de emergencia. Rellena los circuitos de los frenos para que se pueda crear la presión necesaria lo antes posible y acerca las pastillas a los discos de forma imperceptible para el conductor. Además, el PBA reduce el umbral de activación del asistente de frenos. Varios estudios han demostrado que esta última medida es muy importante, ya que solo la tercera parte de los conductores reacciona de forma adecuada ante una situación de riesgo, es decir, con una frenada de emergencia. La mayor parte de conductores frenan demasiado suave y el asistente no se activa.

De esta forma, cuando el conductor pisa el freno, puede ganar valiosas fracciones de segundo gracias a las medidas previamente ejecutadas por el PBA. La interacción de la reacción del conductor y el asistente de frenos puede reducir el recorrido de frenada de forma considerable.

***Predictive Collision Warning* PCW (aviso inteligente ante colisiones). Aviso ante posibles colisiones traseras**

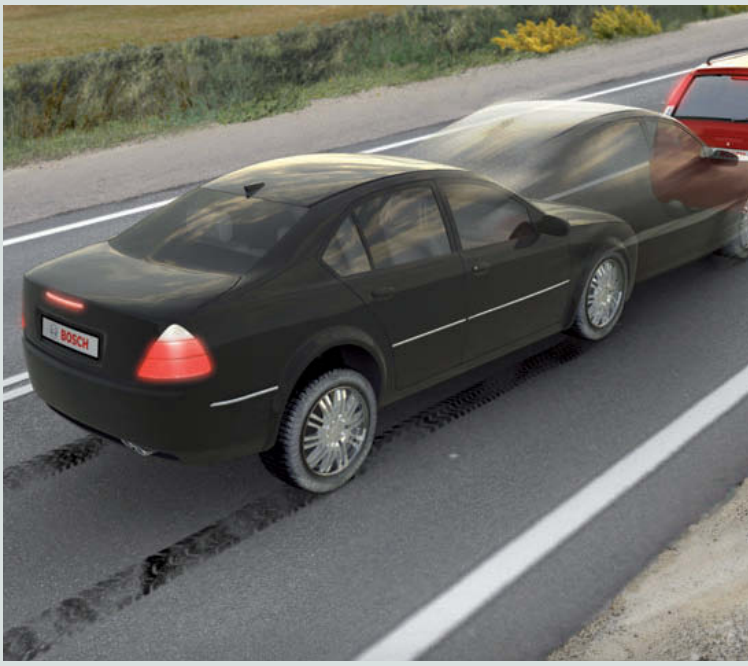
La segunda fase de desarrollo amplia las funciones del PBA: el *Predictive Collision Warning* PCW avisa al conductor a tiempo ante situaciones críticas, para que este pueda reaccionar más rápido y, en muchos casos, pueda evitar el accidente.

Un estudio de la GDV (asociación alemana de compañías aseguradoras) ha demostrado que casi la mitad de los conductores no han frenado antes de la colisión. A través del aviso temprano, el conductor podrá reaccionar más rápido en una situación de riesgo, esquivándola y/o frenando para reducir la fuerza de la colisión. El PCW ayuda en muchos casos a evitar un accidente y en otros a reducir su gravedad.

***Predictive Emergency Braking* PEB (frenada de emergencia inteligente). Interviene en colisiones inevitables**

La *Predictive Emergency Braking* PEB es la tercera fase de desarrollo de PBA y PCW. Además, la PEB puede efectuar en caso de emergencia una frenada automática. Esta función solo se activa cuando el conductor no reacciona o cuando reacciona de forma insuficiente a los avisos previos y ya no se puede evitar la colisión. La frenada de emergencia automática ofrece, independientemente de la reacción del conductor, una retención máxima del vehículo para debilitar al máximo la colisión y minimizar los riesgos de lesiones. Debido a que la PEB interviene de forma activa, las exigencias acerca de la seguridad de la identificación de objetos y de la estimación del riesgo de accidente deben ser máximas.

Fuente: <www.robert-bosch-espana.es>



↑ **Figura 10.99.** Sistemas predictivos de emergencia BOSCH.

EN RESUMEN

SISTEMAS DE SEGURIDAD EN LOS FRENOS → Controlan el derrapaje de las ruedas para mejorar la seguridad del vehículo

SISTEMA DE FRENO ANTIBLOQUEO → Incorpora gestión electrónica con el fin de controlar el bloqueo de las ruedas

Sensores de giro de las ruedas → Unidad de control → Unidad hidráulica → Control de presión en los émbolos de las ruedas → Se evita el bloqueo de las ruedas

SISTEMA DE CONTROL DE LA TRACCION SOBRE LOS FRENOS → Emplea los elementos de control del sistema de freno antibloqueo para controlar el derrapaje de las ruedas motrices. La unidad de control electrónica dispone de una gestión específica y el bloque hidráulico dispone de válvulas específicas para este cometido

Actúa sobre:
- El par motor mediante la gestión electrónica
- La unidad hidráulica para frenar la rueda que derrapa

PROGRAMA ELECTRÓNICO DE ESTABILIDAD → El programa electrónico de estabilidad reconoce mediante sensores la dirección que desea tomar el vehículo, analiza la trayectoria y actúa para corregir subvirajes y sobrevirajes

Utiliza los siguientes sensores:
- Sensores de ruedas
- Sensor de rotación del eje vertical
- Sensor de aceleración trasversal
- Sensor de presión del pedal de freno
- Sensor de giro del volante

Mantenimiento de los sistemas ABS/ESP
- Comprobaciones con polímetro y osciloscopio
- Verificaciones con equipos de diagnosis

entra en internet

1. Busca en internet y en las páginas de fabricantes como las siguientes, modelos distintos de vehículos e identifica si disponen de sistemas como el ABS, ESP, etc.
   - <www.seat.es>
   - <www.audi.es>
   - <www.volkswagen.es>
   - <www.peugeot.es>
   - <www.fiat.es>
   - <www.citroen.es>

11 Sistemas de freno en vehículos industriales y agrícolas

vamos a conocer...

1. Sistemas de freno en vehículos industriales
2. Freno continuo (larga duración)
3. El ABS en vehículos industriales
4. Sistema electrónico de frenado EBS
5. Sistema de freno en vehículos agrícolas

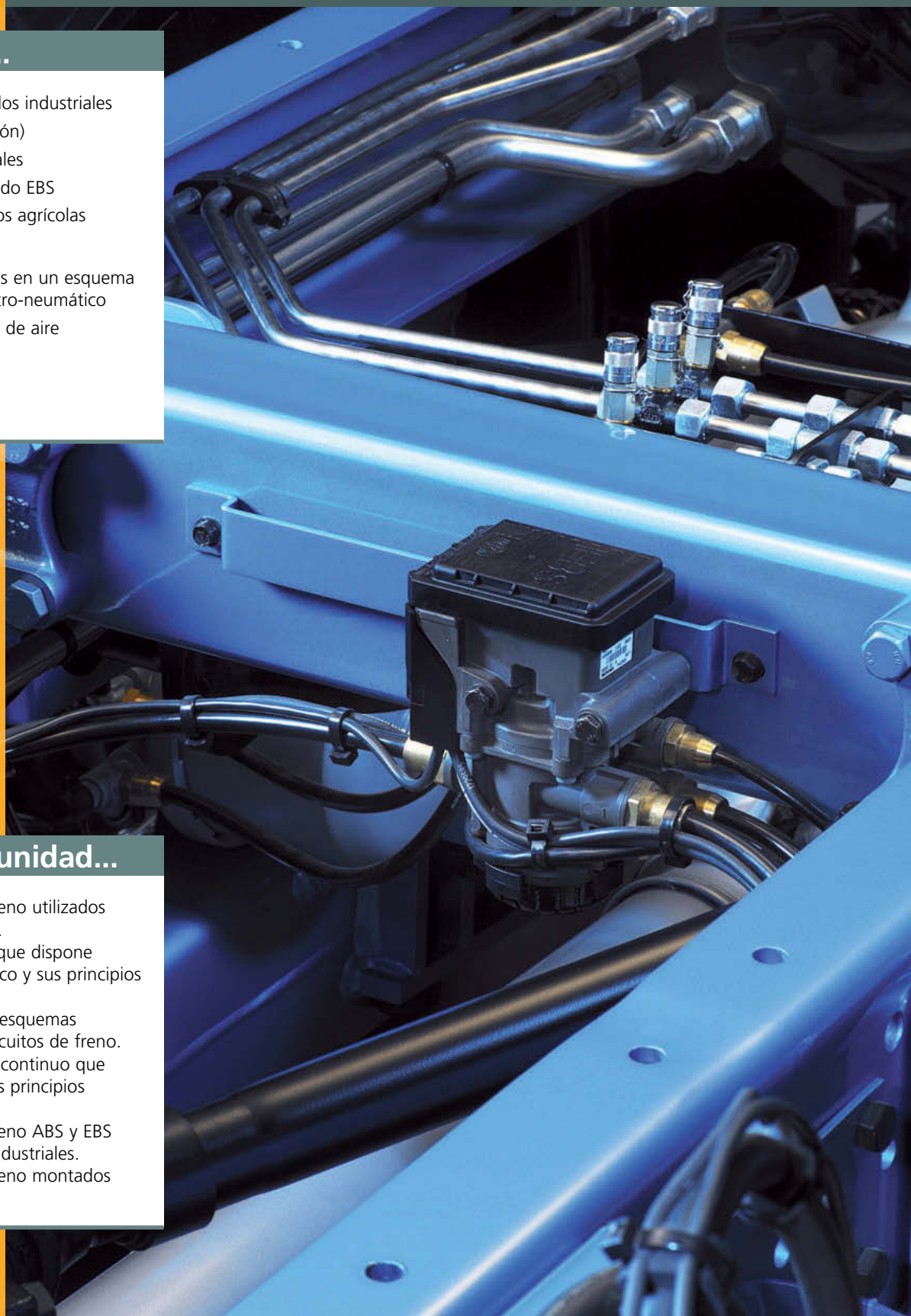
PRÁCTICA **PROFESIONAL**

Localización de componentes en un esquema de un sistema de freno electro-neumático

Sustitución del filtro secador de aire comprimido de un camión

MUNDO **TÉCNICO**

Permanecer en el carril



y al finalizar esta unidad...

- Conocerás los sistemas de freno utilizados por los vehículos industriales.
- Estudiarás los elementos de que dispone un circuito de freno neumático y sus principios de funcionamiento.
- Aprenderás a interpretar los esquemas de funcionamiento de los circuitos de freno.
- Estudiarás los tipos de freno continuo que se montan en camiones y sus principios de funcionamiento.
- Conocerás los sistemas de freno ABS y EBS montados en los vehículos industriales.
- Conocerás los sistemas de freno montados por los vehículos agrícolas.

CASO **PRÁCTICO** INICIAL

situación de partida

Luis conduce un camión con plataforma con el que realiza transporte nacional de mercancías. Este realiza de 2.000 a 3.000 kilómetros semanales con el vehículo cargado.

La cabeza tractora es de la marca Iveco y fue adquirida nueva en el 2008 mientras que la plataforma era la utilizada por otro vehículo anterior y adquirida en el año 2001.

Al llevar al vehículo al taller de neumáticos para sustituir dos ruedas de la plataforma y tras desmontar estas, se observa que el desgaste irregular de las ruedas ha podido ser debido a que los elementos del freno se encuentran corridos y con falta engrase.

Luis, tras montar las ruedas nuevas se dirige al taller mecánico de camión y le indica al mecánico que le revise el sistema de freno de la plataforma y le realice el mantenimiento oportuno para evitar que las ruedas nuevas vuelvan a desgastarse irregularmente por culpa del sistema de freno.

En el taller, además de revisar los elementos mecánicos del sistema de freno también le revisan al camión los elementos neumáticos del sistema de freno con el fin de comprobar que funcionan correctamente.

Al sacar Luís el vehículo del taller, comprueba que funciona perfectamente y que los frenos de la plataforma trabajan de forma equilibrada.

↑ Cabeza tractora y elementos del sistema de freno de la plataforma corridos.

estudio del caso

Antes de empezar a leer esta unidad de trabajo, puedes contestar las dos primeras preguntas. Después, analiza cada punto del tema, con el objetivo de contestar al resto de las preguntas de este caso práctico.

1. ¿Qué elemento es el encargado de generar la presión neumática en el sistema de freno neumático utilizado por los camiones?
2. ¿Qué elemento utiliza el circuito neumático del camión para acumular la presión de aire?
3. ¿Qué tipo de sistema de freno monta el camión de Luís?
4. ¿Qué elementos del sistema freno se utilizan para frenar la rueda de la plataforma?
5. ¿Utiliza algún otro sistema de freno el vehículo de Luis?

1. Sistemas de freno en vehículos industriales

Los vehículos industriales, al igual que los automóviles, necesitan de un sistema de freno que les permita disminuir progresivamente la velocidad de marcha y hacer que el vehículo se detenga o se mantenga inmóvil si se encuentra ya detenido.

Según el sistema de transmisión, los sistemas de freno pueden ser mecánicos, hidráulicos, neumáticos, eléctricos o mixtos.

En los vehículos industriales, en función de la carga que pueden transportar y de las instalaciones que monte el vehículo, se prescribe uno u otro sistema de transmisión y/o se combinan los mismos.

Generalmente, los vehículos industriales que transportan entre 1,5 y 3,5 toneladas instalan sistemas de freno hidráulico y los que superan 7,5 toneladas sistemas de freno neumático o hidroneumático.

A su vez, los vehículos industriales de gran tonelaje pueden incorporar sistemas de freno auxiliar como el freno motor, el freno eléctrico o el freno hidrodinámico.

Además de los sistemas de frenado convencionales utilizados por los vehículos industriales, la nueva normativa de la Unión Europea obliga a partir del año 2013 a los fabricantes de camiones y autobuses a montar un sistema automático de frenada de emergencia.

↑ **Figura 11.1.** Vehículo industrial tomando una curva.

Los elementos de frenado para el freno de servicio que montan los sistemas de freno de los vehículos industriales (discos, tambores, pinzas, etc.) son similares a los montados por los automóviles pero de mayor tamaño y diseñados para soportar grandes esfuerzos (véase figura 11.2). Sin embargo, los sistemas de freno auxiliar utilizados por estos incorporan nuevos elementos para desarrollar la misión de frenado.

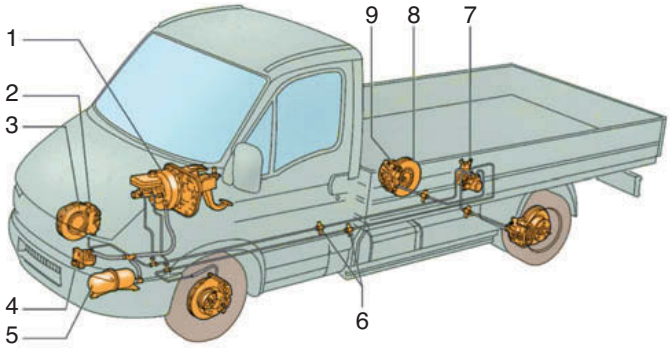
↑ **Figura 11.2.** Freno de disco de un camión.

1.1. Sistema de freno hidráulico

El sistema de freno hidráulico se monta como freno de servicio en algunos vehículos industriales antiguos y en la mayoría de vehículos industriales pequeños.

El circuito hidráulico es similar al empleado en la mayoría de automóviles con la diferencia de que algunos elementos, como el servofreno, están sobredimensionados. En este circuito se utiliza como fuerza auxiliar la depresión generada por una bomba de vacío accionada por el motor.

Con el sistema de freno hidráulico se pueden montar frenos de disco o de tambor. Estos elementos son similares a los estudiados en otros vehículos: discos, pinzas, pastillas, latiguillos, etc.



1. Conjunto de pedal de freno, servofreno, bomba y depósito
2. Pinza freno anterior
3. Disco freno anterior
4. Bomba de vacío
5. Depósito de vacío
6. Tomas de control de la presión
7. Corrector de frenada
8. Disco freno posterior
9. Pinza freno posterior

↑ **Figura 11.3.** Disposición de los elementos principales del circuito de freno hidráulico de un furgón (Iveco Daily).

Funcionamiento

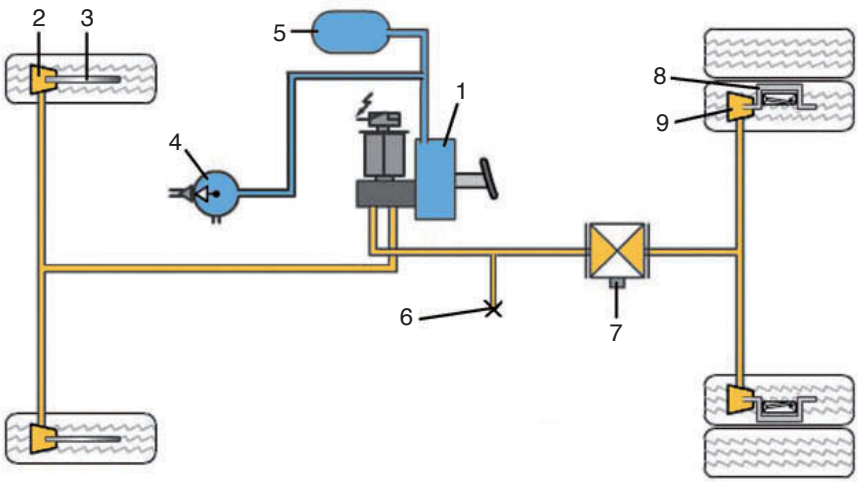
La bomba de vacío (4) es el componente que genera la depresión necesaria para el funcionamiento del servofreno (1). Esta es accionada por el motor y debe garantizar el alcance de la depresión necesaria para el funcionamiento.

El conductor, al pisar el pedal de freno, desplaza el émbolo de la bomba de freno que envía líquido a presión a las pinzas de freno (2).

El servofreno de depresión (1) utiliza la depresión producida por la bomba de vacío (4) para accionar la bomba de freno en función del mando ejercido por el conductor en el pedal de freno y así reducir su esfuerzo de accionamiento.

saber más

El servofreno de depresión es un dispositivo neumo-hidráulico constituido por una sección neumática en depresión y por una sección hidráulica.

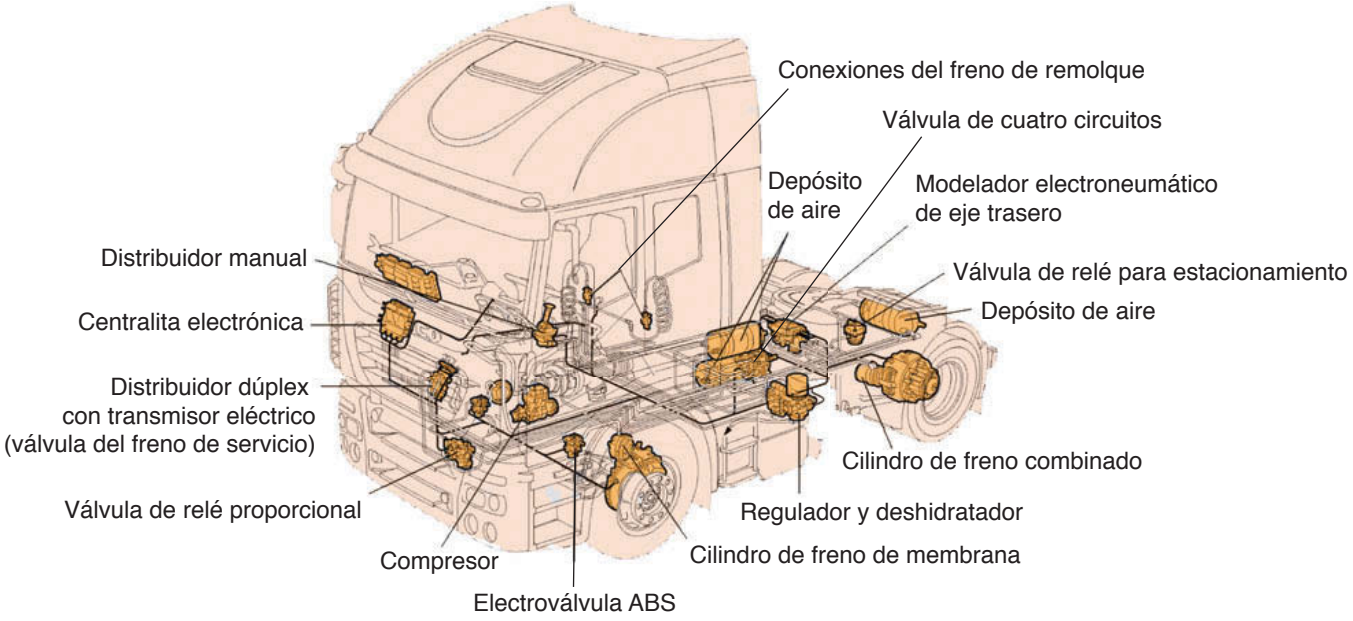


↑ **Figura 11.4.** Esquema hidráulico.

1.2. Sistema de freno neumático

En vehículos que superan 7,5 toneladas, el sistema de accionamiento generalmente empleado es el neumático, combinado en muchos modelos con la suspensión neumática. En este sistema se utiliza el aire como medio de transmisión de la fuerza de frenado.

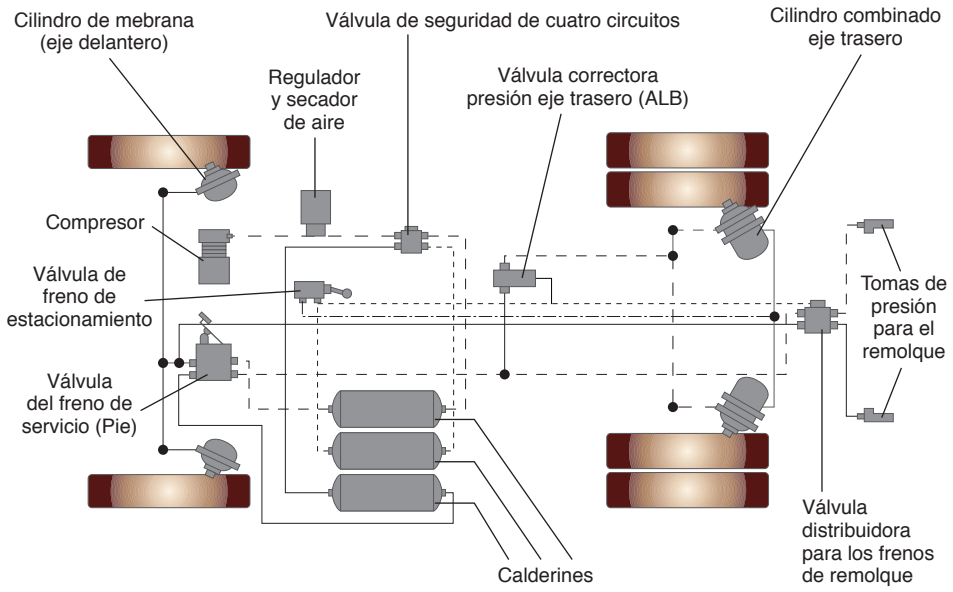
Los principios de funcionamiento de los elementos son similares a los empleados en los accionamientos hidráulicos, aunque constructivamente son distintos.



↑ **Figura 11.5.** Ejemplo de disposición de los elementos de un circuito de freno neumático de una cabeza tractora.

Elementos del circuito de freno neumático

En este caso, los elementos del circuito de freno son neumáticos y se pueden distribuir según modelos de la siguiente manera:



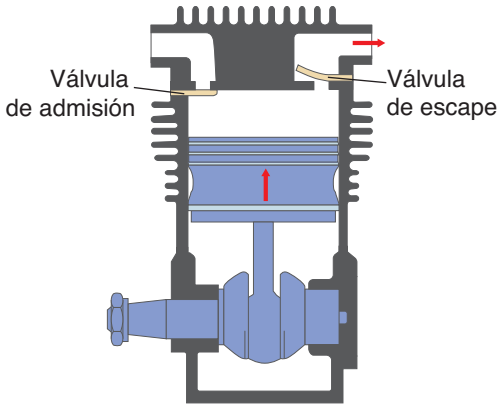
↑ **Figura 11.6.** Ejemplo de esquema básico de un circuito de freno neumático.

Generación y regulación de la presión

En este grupo se encuentran los elementos encargados de tratar y preparar el aire para su utilización en el circuito.

- **Compresor.** Es el elemento encargado de generar presión en el circuito neumático. Es movido por el funcionamiento del motor de modo continuo mediante correas trapezoidales, poliuves o ruedas dentadas. Los valores de presión que se emplean oscilan entre 6 y 20 bar, y para circuitos de baja presión de 6 a 8 bar, que son los utilizados por ejemplo, en remolques, y de 14 a 20 bar para los circuitos de alta presión de los camiones.

  El compresor trabaja en dos tiempos, admisión y compresión. En la fase de admisión, la válvula de admisión se abre dejando pasar el aire al cilindro. En la fase de escape, el aire se comprime por el empuje del émbolo y deja salir el aire a presión por la válvula de escape. El aire comprimido pasa a las canalizaciones y al circuito.



↑ **Figura 11.7.** Compresor de aire.

- **Regulador de presión.** El regulador de presión realiza una función similar a la del presóstato del compresor del taller. Este mantiene la presión dentro de los niveles que el circuito neumático necesita para trabajar; por ejemplo, puede regular entre una presión máxima de 12 bar y una presión mínima de 10 bar.

  El regulador de presión se desconecta cuando se alcanza la presión máxima, en el caso del ejemplo 12 bar, permitiendo que el compresor trabaje en vacío y descargando el aire al exterior. Tras cierto consumo de aire por los distintos dispositivos, y cuando la presión baja hasta una presión mínima, en el caso del ejemplo, de 10 bar, el regulador se conecta de nuevo y conduce el aire comprimido, que el compresor manda, hasta el depósito acumulador.

- **Deshidratador o secador.** Este elemento se encarga de secar el aire y limpiarlo de partículas. El secador dispone de un compartimiento para el producto secante (higroscópico), conducciones de paso del aire, una válvula de descarga y una regulación para la regeneración del producto secante (véase figura 11.9).

  El secador obliga a pasar el aire por el compartimiento del producto secante. Este absorbe y condensa la humedad del aire. La capacidad de absorción del producto está limitada, lo que obliga a regenerar el producto secante (higroscópico) cada cierto tiempo, con el fin de no saturar el producto.

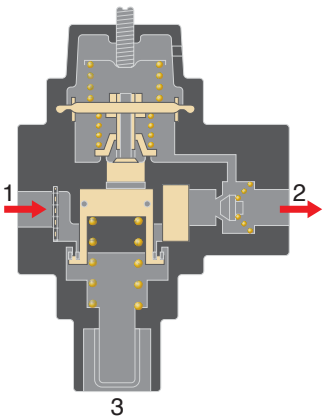
  El proceso de limpieza del producto se realiza en un proceso inverso, el aire seco del depósito (calderín) se descomprime a presión atmosférica con la válvula de estrangulamiento y regeneración. El aire circula a contracorriente por el producto secante y extrae la humedad expulsándolo al exterior por la válvula de descarga.

saber más

El compresor emplea el aceite del motor para su lubricación.

caso práctico inicial

El camión de Luís monta un sistema de freno neumático para el freno de servicio y como freno auxiliar monta un retardador del tipo intarder.



1. Desde el compresor de aire
2. Hacia los depósitos de aire
3. Purga de aire

↑ **Figura 11.8.** Regulador de presión.

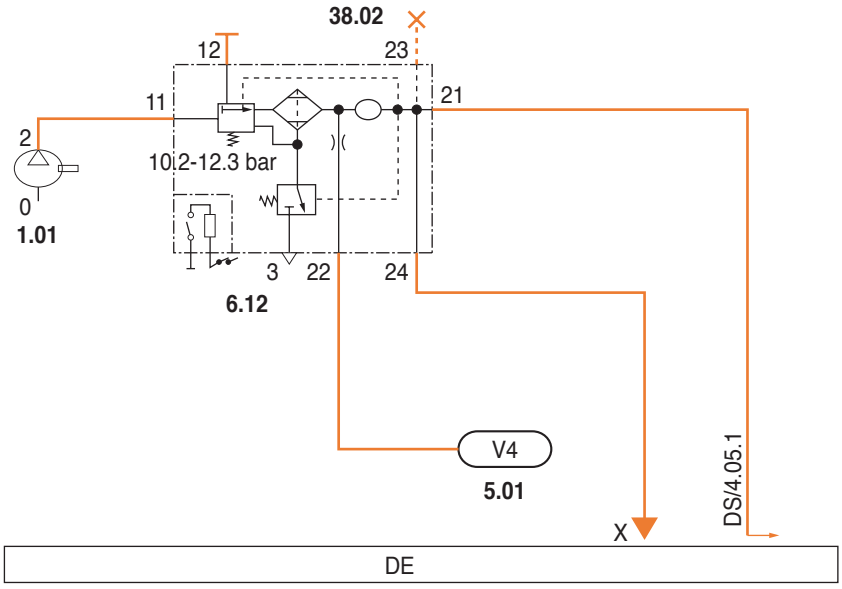
↑ **Figura 11.9.** Deshidratador o secador.

↑ **Figura 11.10.** Calderines.

Acumulación y aseguramiento de la presión

Este grupo consta principalmente de los calderines, que acumulan el aire a presión del circuito, y la válvula de seguridad de cuatro circuitos, que garantiza la presión de aire en los distintos circuitos del camión.

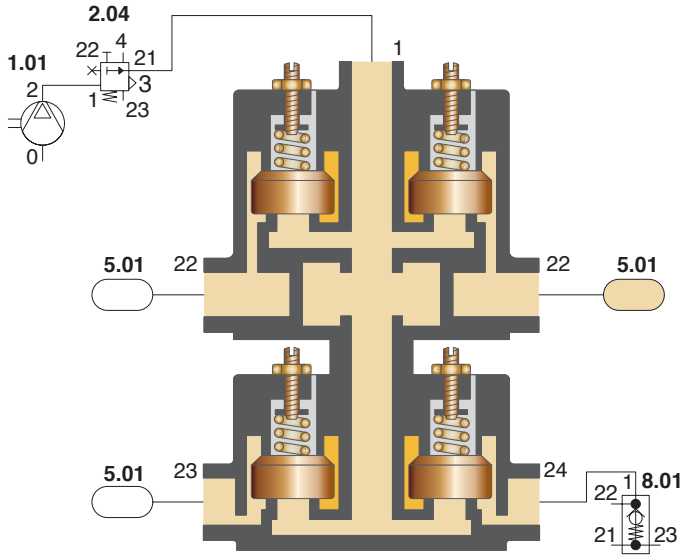
- **Calderines.** Acumulan el aire a presión para su empleo en el circuito neumático. Se fabrican con chapa soldada y su misión es acumular aire a presión en una cantidad suficiente para que los circuitos funcionen durante el tiempo de detención del vehículo en caso de fallo del compresor, del regulador o del secador. Los calderines pueden disponer de una válvula de seguridad, tarada por encima de la presión máxima del circuito y un purgador para eliminar el agua condensada.



↑ **Figura 11.11.** Esquema del grupo de generación, acumulación y mantenimiento de la presión.

↑ **Figura 11.12.** Válvula de cuatro circuitos.

- **Válvula protectora de cuatro circuitos.** Canaliza el aire a los distintos circuitos de freno. Consiste en una válvula de seguridad que comunica el regulador y el secador con los calderines y con los restantes circuitos neumáticos.



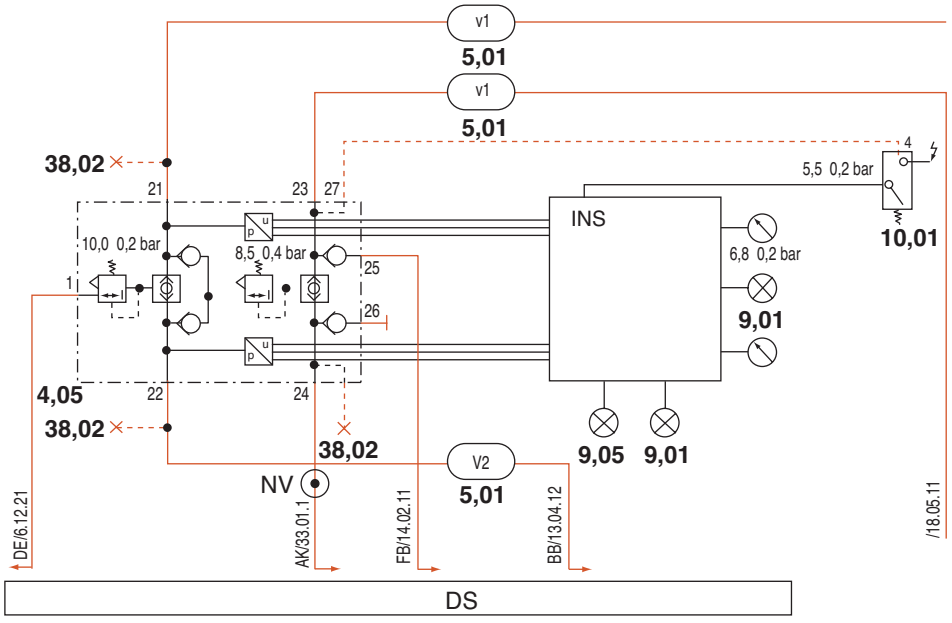
↑ **Figura 11.13.** Sección de la válvula de cuatro circuitos.

La válvula de cuatro circuitos asegura la presión en los siguientes circuitos:

- En el freno de servicio; primer y segundo circuito.
- En el freno de estacionamiento y remolque; tercer circuito.
- En la alimentación de accesorios; cuarto circuito.

Para cualquier instalación se prohíbe tomar aire de los circuitos de freno.

↑ **Figura 11.14.** Montaje de la válvula de cuatro circuitos en el vehículo.



↑ **Figura 11.15.** Esquema de la válvula de cuatro circuitos.

Dispositivos de accionamiento y acoplamiento

Los elementos de los dispositivos de accionamiento son todos los que el conductor acciona para conseguir frenar.

- **Pedal y válvula de accionamiento del freno de servicio.** Canalizan el aire a presión hasta los émbolos de frenado. Suelen ser de doble circuito con regulación para el eje delantero.

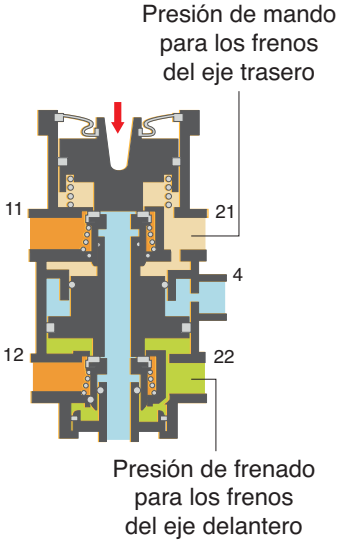
  La válvula de accionamiento se desplaza por la fuerza que el conductor realiza en el pedal de freno; esta se aplica en las dos válvulas de regulación de que dispone, una detrás de otra. Cada válvula recibe la presión del circuito de alimentación y actúan sobre un circuito, eje delantero (salida 22) y eje trasero (salida 21), véase figura 11.16.

  La válvula de accionamiento también recibe presión del corrector de frenada ALB por el racor (4). La presión que recibe del corrector se emplea para regular la presión de frenado.

- **Válvula de regulador ALB. Corrector de frenada.** Consiste en una válvula de relé que regula y limita la presión de frenado en el eje trasero dependiendo de la carga que soporte el eje.

  Está válvula se conecta entre la válvula del freno de servicio y los cilindros de freno. En algunos modelos, se coloca fija al bastidor del vehículo, y se acciona a través del varillaje, según el desplazamiento de la suspensión por la carga que soporte.

  Las modernas válvulas ALB reciben presión del circuito neumático de suspensión y mandan una señal de presión proporcional a la carga soportada a la válvula de accionamiento del freno de servicio.

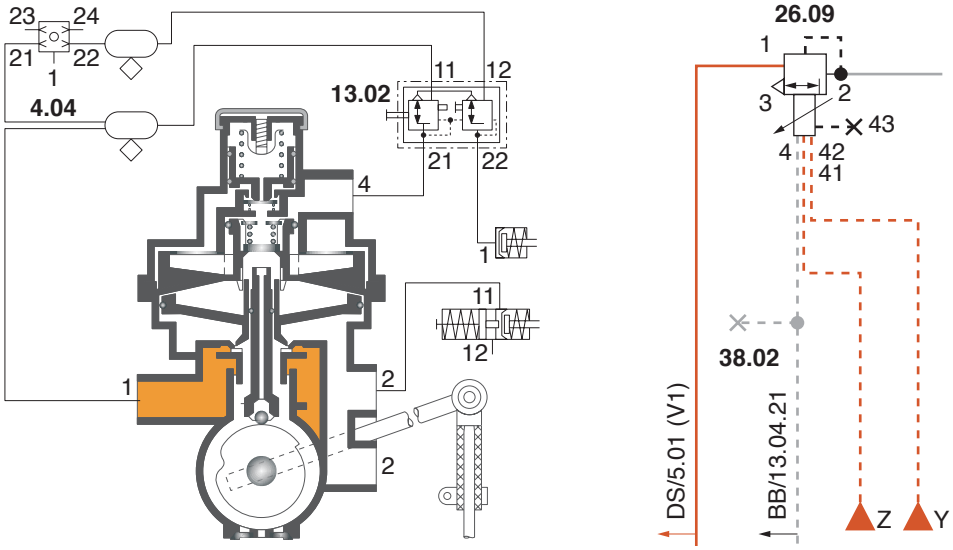


↑ **Figura 11.16.** Válvula de accionamiento del freno de servicio seccionada.

caso práctico inicial

Para frenar la plataforma del camión de Luís, cada rueda dispone de un sistema de freno de tambor con un dispositivo de tensado en forma de «S» y un cilindro neumático con resorte.

En el esquema siguiente vemos cómo la válvula ALB, tras recibir presión de mando por el conducto 4, permite el paso de presión proporcional a la carga del vehículo por la salida 2 (véase figura 11.17).



↑ **Figura 11.17**. Esquema eléctrico de la válvula reguladora ALB y esquema de conexión.

↑ **Figura 11.18.** Montaje del cilindro de membrana en la rueda delantera.

↑ **Figura 11.19.** Cilindro de freno de dos cámaras

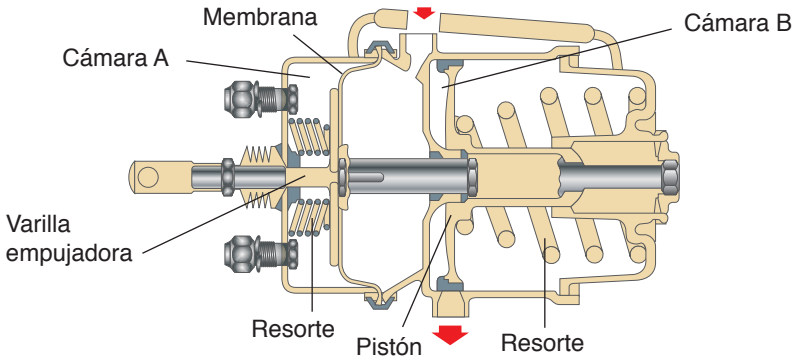
- **Cilindros de freno.** Se utilizan dos tipos: en el más sencillo, los cilindros disponen de una única cámara con membrana. Este se emplea en frenos de servicio exclusivamente.

  El funcionamiento es similar al de un cilindro de simple efecto, cuando la presión entra en la cámara, empuja a la membrana y transforma la presión neumática en fuerza de accionamiento.

  El cilindro combinado dispone de una cámara con membrana para el freno de servicio, y un cilindro de pistón con muelle para el freno de estacionamiento, dispuestos uno detrás del otro (véase figura 11.20).

  El cilindro se puede accionar de modo independiente o simultáneamente, en este último caso, las fuerzas de accionamiento de los dos dispositivos se suman.

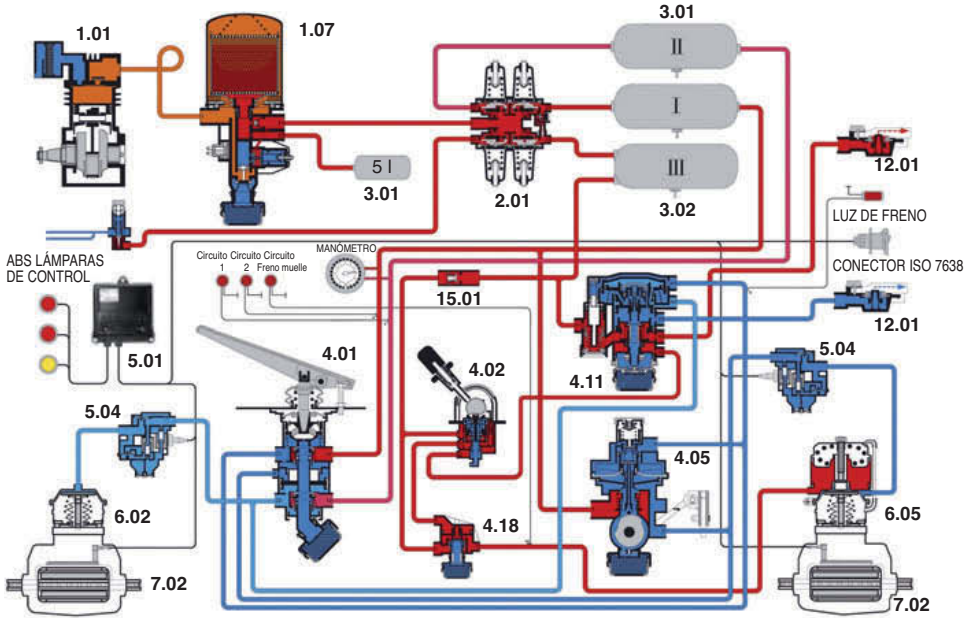
  Sin presión en ninguna de las dos cámaras, el muelle empuja al cilindro y los vástagos se desplazan y empujan el freno de las ruedas: el vehículo permanece frenado. Para liberar los frenos, es necesario disponer de presión en la cámara del cilindro de resorte. Una vez liberado, el freno de servicio funciona con la presión que se comanda sobre la cámara del cilindro de membrana (freno de servicio).



↑ **Figura 11.20.** Sección del cilindro de freno de dos cámaras (combinado).

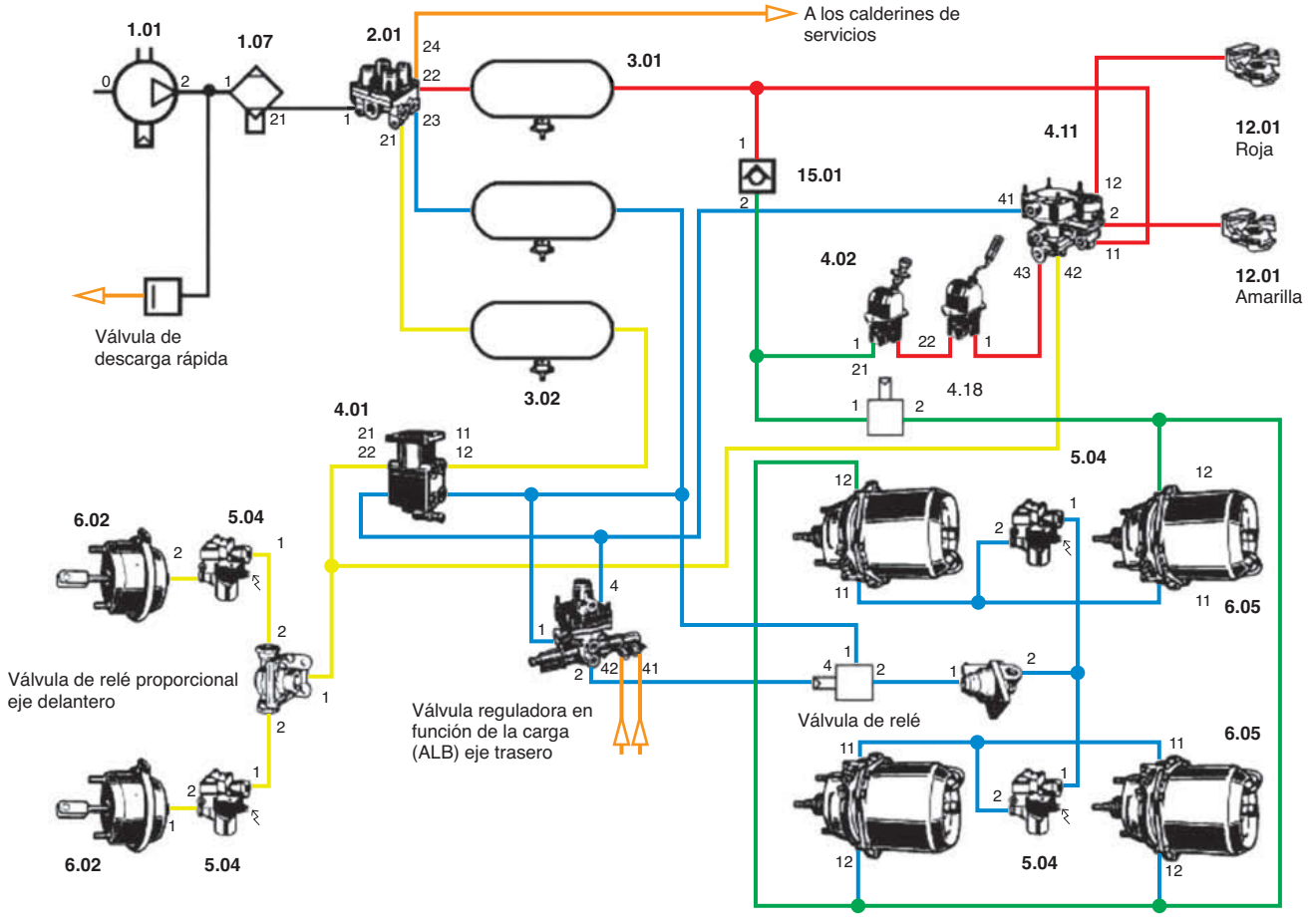
Esquemas del sistema neumático de freno

En el siguiente esquema se ven representados los distintos elementos de un sistema neumático de freno.



1.01. Compresor y filtro
1.07. Secador de aire con regulador
2.01. Válvula de protección de 4 circuitos
3.01. Depósito de reserva de aire (calderines)
3.02. Purgador de agua
4.01. Válvula de freno de servicio (freno de pie)
4.02. Válvula del freno de estacionamiento
4.05. Válvula correctora de presión de frenado (ALB)
4.11. Válvula de control del remolque
4.18. Válvula relé
5.01. Unidad de control del ABS
5.04. Válvula moduladora del ABS
6.02. Cilindro de membrana (eje delantero)
6.05. Cilindro combinado (eje trasero)
7.02. Freno de disco
12.01. Cabezal de acoplamiento para remolque (Roja, Amarilla)
15.01. Válvula de retención

↑ **Figura 11.21.** Ejemplo de representación en orden de marcha de un esquema con los elementos un sistema de freno neumático.



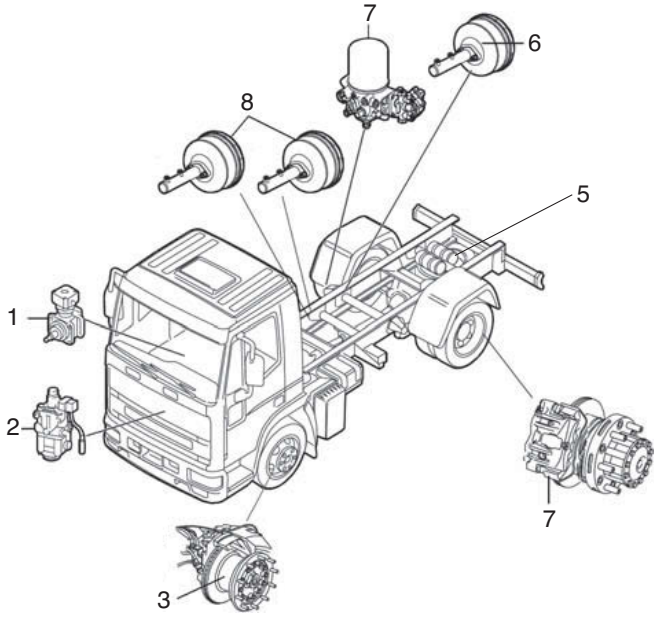
↑ **Figura 11.22.** Ejemplo de esquema neumático del sistema de freno neumático.

1.3. Sistema de freno hidroneumático

↑ **Figura 11.23.** Unidad de procesamiento de aire.

El sistema de freno hidroneumático empleado en los vehículos industriales combina la neumática para la fuerza auxiliar y el comandado del circuito, y la hidráulica para el accionamiento de pinzas y bombines.

El circuito dispone de un generador de fuerza auxiliar (compresor), uno o varios acumuladores de presión (depósitos de aire), una válvula de accionamiento por pedal (distribuidor dúplex), un convertidor de la presión neumática por presión hidráulica, (que llega hasta los bombines), bombines y/o pinzas (según el freno de ruedas que equipe el vehículo), canalizaciones y latiguillos.



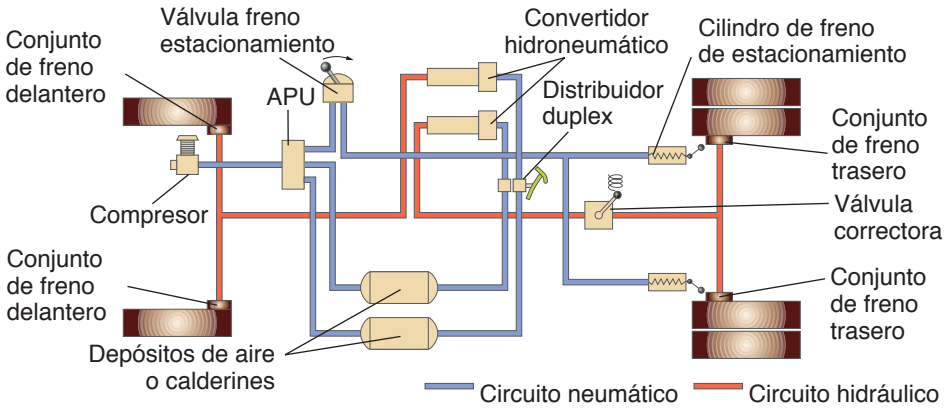
1. Compresor monocilíndrico
2. Distribuidor dúplex
3. Conjunto freno de disco anterior
4. Conjunto freno de disco posterior
5. Depósitos aire
6. Convertidor neumohidráulico del puente
7. A.P.U.
8. Convertidor neumohidráulico eje

→ **Figura 11.24.** Disposición de los elementos principales del circuito de freno hidroneumático de un camión (Iveco EuroCargo).

↑ **Figura 11.25.** Convertidor neumohidráulico.

El compresor (1) produce el aire comprimido necesario para el funcionamiento del vehículo. Este aire es depurado, deshumificado y regulado a una presión constante en la unidad de procesamiento de aire (APU) (7) que está compuesta por un secador y una válvula de protección de cuatro vías.

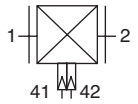
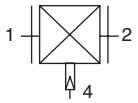
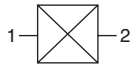
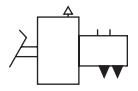
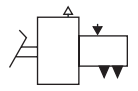
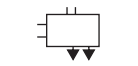
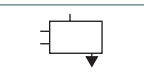
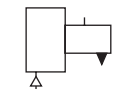
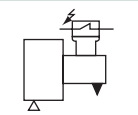
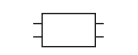
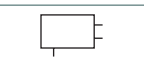
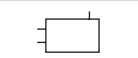
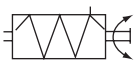
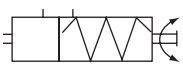
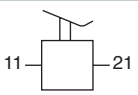
El distribuidor dúplex (2) toma aire de los depósitos (5) y lo distribuye a los convertidores neumohidráulicos que convierten la fuerza neumática de accionamiento de los frenos, en fuerza de frenado hidráulica para accionar los elementos de frenado (cilindros de freno) del eje delantero y trasero.



↑ **Figura 11.26.** Esquema del sistema de freno hidroneumático.

1.4. Simbología

La simbología empleada en los circuitos de los sistemas de freno neumáticos e hidroneumáticos está normalizada para una fácil comprensión. Entre otros, los símbolos más empleados son:

Denominación	Símbolos	
Corrector de frenado con mando neumático		
		
Válvula proporcional de reducción		
Servofreno por depresión		
		
Cilindro maestro de doble circuito		
		
Convertidor neumohidráulico		
		
Cilindro de freno hidráulico		
Cilindro operador		
		
Cilindro muelle		
Cilindro de freno combinado		
Pinza del freno de disco fija		
Distribuidor de mando del freno		

↑ **Tabla 11.1.** Simbología más usual en los frenos de vehículos industriales.

2. Freno continuo (larga duración)

Los sistemas de freno continuo se emplean para aliviar y complementar los frenos de ruedas. Estos, discos y tambores, se calientan si se utilizan en exceso. Por ejemplo, bajando pendientes pueden calentarse y perder su eficacia de frenado. Este fenómeno de pérdida de eficacia por sobrecalentamiento se conoce como efecto «fading».

↑ **Figura 11.27.** Vehículo industrial bajando una pendiente y frenando con un freno continuo.

En los vehículos pesados, con un peso superior a 12 toneladas y en autobuses con un peso superior a 5 toneladas, es obligatorio disponer de freno continuo.

El dispositivo de freno continuo debe estabilizar por sí solo la velocidad del vehículo, circulando con plena carga en un tramo en pendiente del 7 % como mínimo, sin emplear el freno de ruedas.

Los frenos continuos ofrecen las siguientes ventajas:

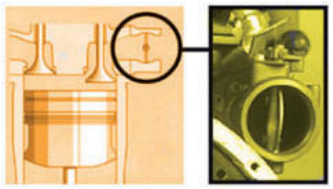
- Frenan sin desgaste, no frenan por fricción.
- Incrementan la vida útil de los frenos de servicio.
- Ayudan en la conducción y permiten aumentar las velocidades medias y bajar los desniveles con mayor seguridad.

Los frenos continuos más empleados son:

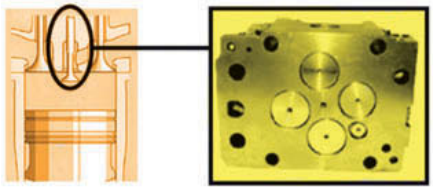
- Freno motor, con válvula en el tubo de escape.
- Retardador hidrodinámico (retárder e intárder).
- Retardador eléctrico.

2.1. Freno motor con válvula en el tubo de escape

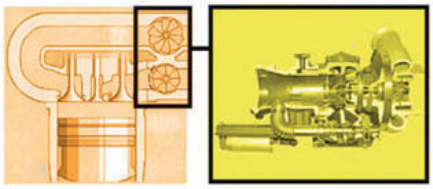
El freno motor con válvula en el tubo de escape emplea el motor del vehículo como compresor. La retención del motor, al actuar este como un compresor, se convierte en fuerza de frenado. Es decir, el motor absorbe la energía cinética del vehículo.



Frenos por presión dinámica:
- La mariposa de escape estrecha la sección del tubo de escape
- Efecto de frenado en el ciclo de expulsión



Frenos de descompresión:
- Válvula adicional (estrangulador constante) en la culata
- Efecto de frenado en el ciclo de compresión



Turbofreno:
- Una mayor presión de sobrealimentación genera un mayor caudal de aire y, con ello, una mayor potencia de frenado
- Efecto de frenado muy superior al de los sistemas con mariposa de escape o estrangulador constante

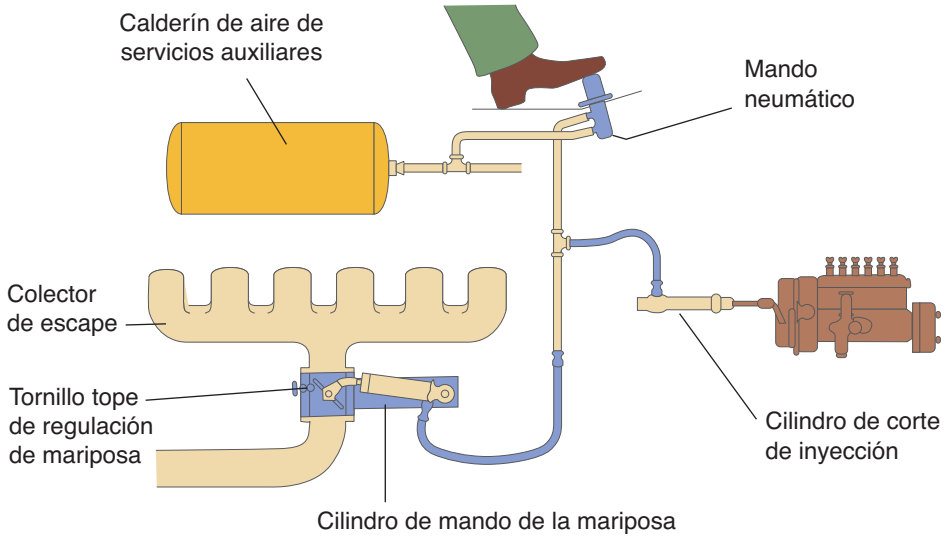
↑ **Figura 11.28.** Ejecución de los frenos de motor.

Funcionamiento

El freno motor se acciona con una válvula de pie neumática o eléctrica que activa el cilindro de accionamiento de la válvula de mariposa del colector de escape. El sistema corta la alimentación del motor cuando se acciona el freno motor (véase figura 11.30).

La válvula de mariposa del colector de escape cierra la salida de los gases y provoca la contrapresión en el colector y en los pistones de 2 a 5 bar, lo cual frena el desplazamiento de los pistones y, en consecuencia, el giro del motor.

↑ **Figura 11.29.** Cilindro de mando de la mariposa.



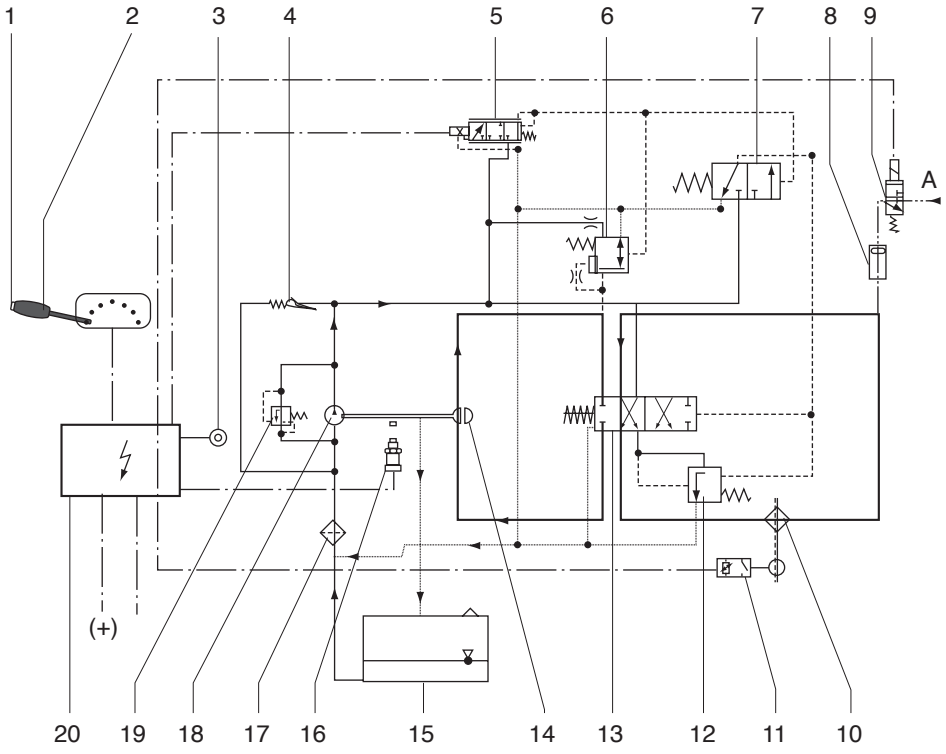
↑ **Figura 11.30.** Freno motor.

caso **práctico** inicial

El camión de Luis monta un sistema de freno neumático con retardador hidrodinámico (intárder).

2.2. Retardador hidrodinámico (retárder e intárder)

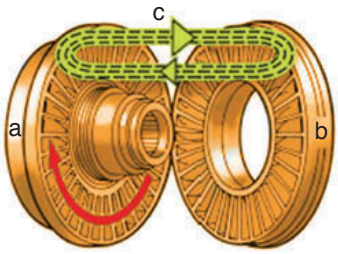
El retardador hidrodinámico es un dispositivo de freno continuo que se puede montar a la salida de la caja de cambios o en algunos modelos se monta integrado con la caja de cambios, como es el caso del Intárder ZF de Iveco.



línea eléctrica
línea neumática
línea hidráulica
circuito ralentizador
línea de mando
circuito vaciado cárter
circuito agua

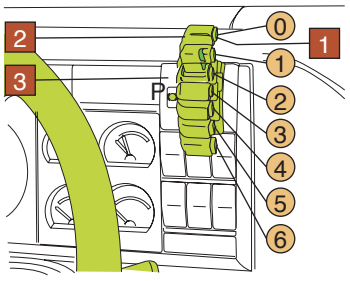
1. Botón para memorizar la velocidad
2. Empuñadura de mando ralentizador
3. Indicador luminoso 4. Válvula de seguridad 5. Electroválvula proporcional con válvula de mando 6. Válvula de regulación 7. Válvula de incremento de la presión 8. Acumulador hidráulico
9. Válvula electroneumática de mando acumulador hidráulico
10. Intercambiador de calor aceite/agua
11. Sensor de temperatura agua
12. Válvula de mantenimiento de la presión 13. Válvula de conmutación
14. Grupo rotor y estator 15. Cambio
16. Transmisor electrónico de revoluciones 17. Filtro de aceite
18. Bomba hidráulica 19. Válvula limitadora de presión 20. Centralita electrónica

↑ **Figura 11.31.** Esquema básico de instalación hidráulica y neumática del intárder.



a. Rotor
b. Estator
c. Flujo del aceite

↑ **Figura 11.32.** Retardador abierto.



↑ **Figura 11.33.** Empuñadura situada en el tablero de abordo.

Constitución y funcionamiento

Básicamente, el retardador hidrodinámico es un embrague hidráulico (véase figura 11.32). Los dos álabes se encuentran enfrentados. El rotor está unido a la transmisión del vehículo y el estator se encuentra fijado al cárter del conjunto y estacionario. El efecto de frenado se obtiene mediante el aceite que entra en el interior del rotor y del estator.

El aceite que se encuentra en los compartimentos entre el rotor y el estator se mueve gracias a las palas del rotor, con lo que se crea un flujo de aceite de circuito cerrado entre la parte móvil y la parte fija del ralentizador. El aceite, al chocar contra las palas del estator, disminuye su velocidad, lo cual determina la frenada del rotor y, en consecuencia, del vehículo.

El mando del ralentizador se efectúa a través de una empuñadura (2) (véase figura 11.33), de varias posiciones colocada en el tablero a la derecha del volante.

El sistema dispone de la función de velocidad constante. Con esta función se puede mantener el vehículo a una velocidad constante seleccionada por el conductor, incluso en bajadas. En esta posición, la centralita electrónica del retardador selecciona automáticamente el par de frenado necesario para mantener la velocidad programada.

La desactivación de la función velocidad constante se efectúa apretando de nuevo el botón (1) (véase figura 11.33). Una vez desactivada, el ralentizador funciona con la selección que se realice en la palanca. Activada la palanca, la unidad de control recibe la señal eléctrica, la procesa y envía una señal de mando a la electroválvula de mando del acumulador (9), y a la electroválvula proporcional (5) (véase figura 11.33).

La electroválvula de mando del acumulador se conmuta y deja pasar el aire a presión que actúa sobre el pistón del acumulador hidráulico que envía aceite al circuito hidráulico.

La electroválvula proporcional actúa sobre la válvula de mando y determina la presión de mando.

La válvula de regulación y la válvula de incremento de la presión están pilotadas por la presión del aceite que llega de la válvula de mando. Cuanta más presión tenga el aceite del circuito, mayor será el efecto de frenado del aceite en el interior del rotor y del estator.

El circuito regula la presión del aceite en función de la posición de la palanca del ralentizador, 1-2-3-4-5. La presión de mando aumenta en la misma proporción y el efecto frenante del conjunto.

En la posición de «0», el ralentizador se desactiva, la electroválvula de mando y la electroválvula proporcional se dejan de excitar, y la válvula de mando se conmuta determinando una presión de mando de «0» bar. Las válvulas de regulación y la válvula de aumento de la presión se descargan con la acción del muelle.

La válvula de conmutación se conmuta por la acción del muelle, descargando el aceite al circuito de alimentación. En esta situación, el conjunto rotor-estator se queda sin aceite y no realiza ningún efecto frenante.

La reducción de velocidad del flujo de aceite entre el rotor y el estator determinan la transformación de la energía cinética en energía calorífica o térmica.

Para disipar el calor, el aceite pasa a través del intercambiador de calor, aceite-agua. En el intercambiador, el calor del aceite pasa al líquido de refrigeración y se disipa por medio del sistema de refrigeración del vehículo. Este se debe sobredimensionar cuando se equipa un freno retardador hidroneumático.

saber más

El retardador, cuando dispone de un circuito de aceite independiente y distinto de la caja de cambios, se denomina retárder.

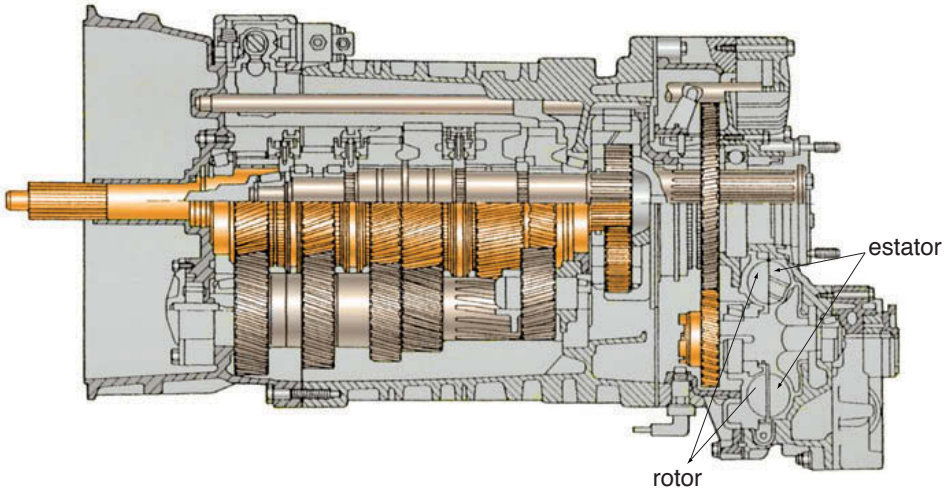
Los retardadores que comparten el circuito de aceite con las cajas de cambios, se denominan intárder.

saber más

La válvula de neumática proporcional permite el paso de fluido proporcional a la tensión o intensidad de alimentación.

Por ejemplo: una válvula proporcional se puede programar para que excite con 3 voltios, y presión de salida de 3 bar. Si se aumenta la tensión de alimentación a 6 voltios, la presión de salida será de 6 bar.

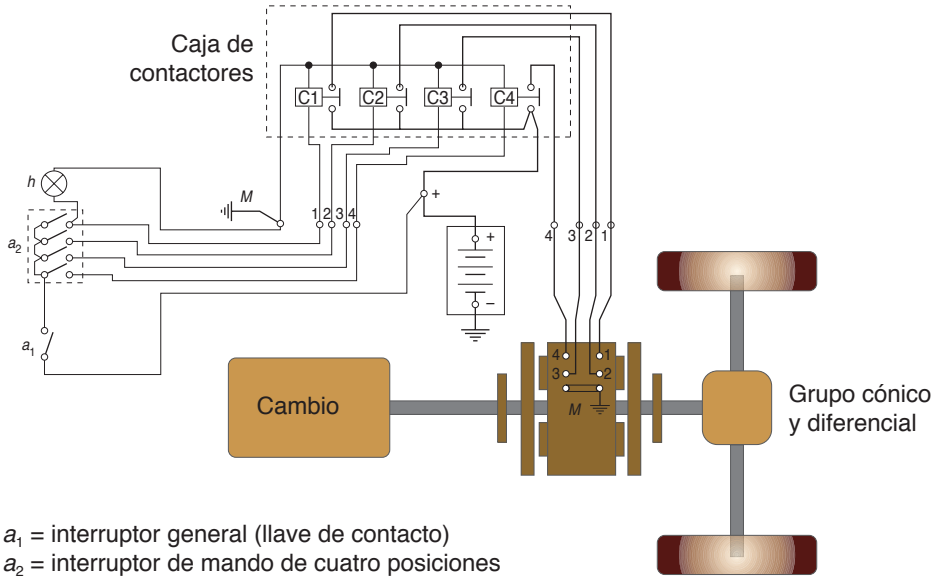
↑ **Figura 11.34.** Montaje del retardador hidrodinámico en el vehículo.



↑ **Figura 11.35.** Sección longitudinal de un cambio con intárder.

2.3. Retardador eléctrico (freno eléctrico)

El retardador electrodinámico es un freno continuo que produce un efecto de frenado y un comportamiento similar al retardador hidrodinámico. El retardador se coloca intercalado en la transmisión y actúa sobre los ejes traseros.



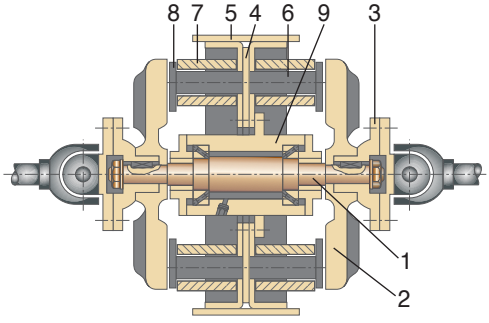
a_1 = interruptor general (llave de contacto)
a_2 = interruptor de mando de cuatro posiciones

↑ **Figura 11.36.** Esquema eléctrico.

Constitución y funcionamiento

El freno retardador electrodinámico está formado básicamente por un rotor que está acoplado a la transmisión del vehículo y a un estator fijo al chasis. En el estator se montan las bobinas inductoras con sus núcleos magnéticos.

El freno eléctrico dispone de un mando con varias posiciones. El conductor desplaza la palanca a la posición deseada: 1, 2, 3, 4...



1. Árbol
2. Platos de freno
3. Bridas de acoplamiento a la transmisión
4. Cuerpo del estator
5. Soporte de fijación al chasis
6. Núcleos magnéticos
7. Bobinas inductoras
8. Culatines de cierre
9. Buje

↑ **Figura 11.37.** Freno eléctrico.

Para frenar, se alimentan las bobinas de excitación con corriente de la batería. La corriente, al atravesar las bobinas, produce un campo magnético que induce corrientes de **Foucault.** Cuando los rotores atraviesan ese campo, se genera un par de frenado. La magnitud del par de frenado dependerá de la excitación de las bobinas del estator (posición de la palanca del freno).

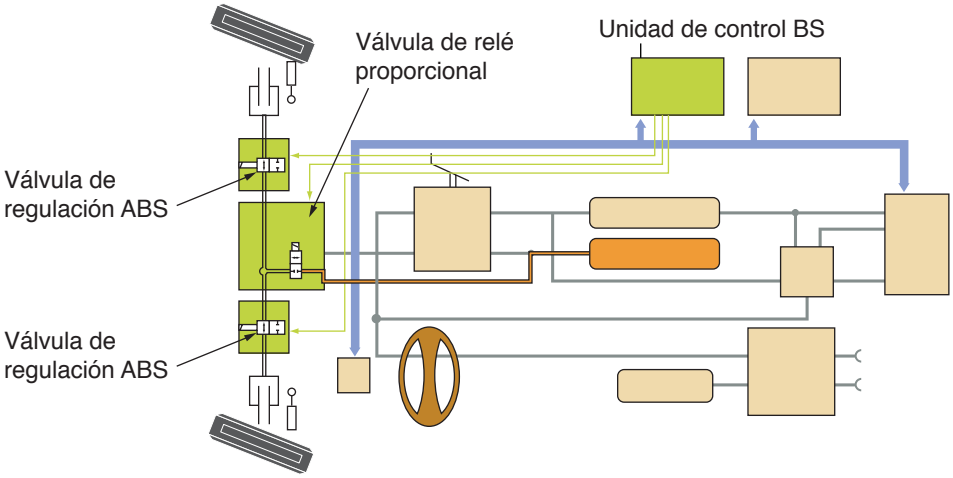
El retardador electrodinámico, como todos los frenos, transforma la energía cinética del vehículo en energía calorífica. El calor transformado se disipa en el aire gracias a las canalizaciones que el retardador dispone.

3. El ABS en vehículos industriales

El sistema de freno antibloqueo (ABS) es obligatorio desde el 1 de octubre de 1991 en los países de la Unión Europea, para camiones de más de 16 toneladas, en remolques de más de 12 toneladas y en autobuses de más de 12 toneladas.

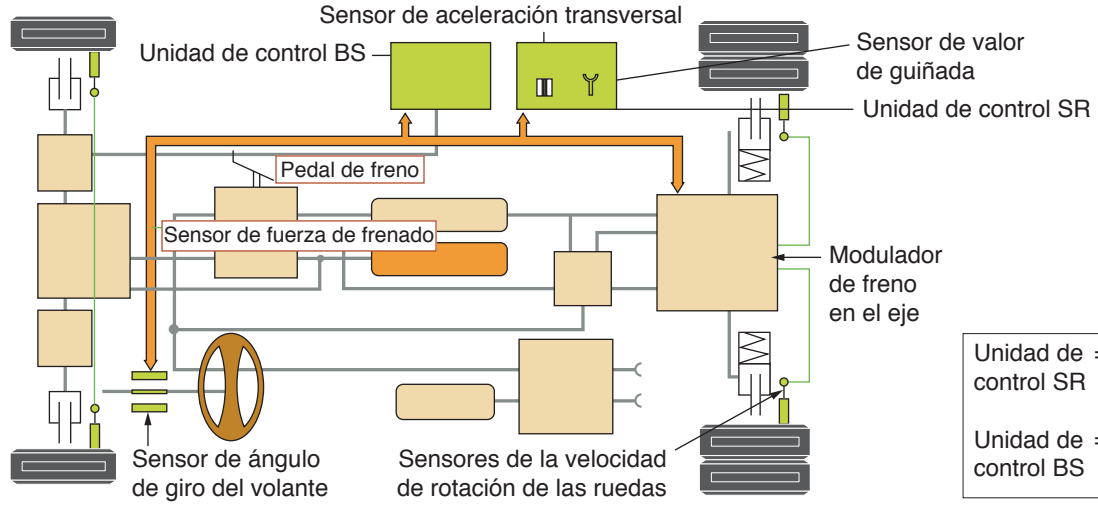
Constitución y funcionamiento del sistema

El principio de funcionamiento que se utiliza en vehículos industriales es similar al empleado en automóviles y los sensores actúan de igual manera. La diferencia estriba en que el accionamiento de los vehículos industriales es neumático y, por tanto, el sistema dispone de componentes neumáticos diferentes a los hidráulicos empleados en automóviles.

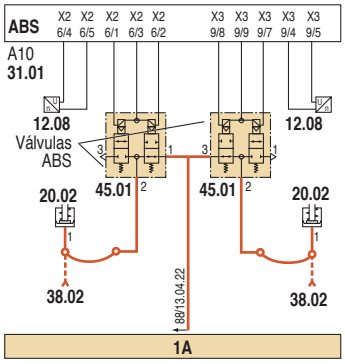


↑ **Figura 11.38.** Componentes de un ABS/ESP de un vehículo industrial.

Los componentes distintos del ABS/ESP en vehículos con accionamiento neumático son los siguientes: válvulas de regulación ABS, válvula del pedal y sensor de fuerza de frenado, modulador de freno de eje trasero y válvula proporcional del eje delantero (véase figuras 11.38 y 11.39).



↑ **Figura 11.39.** ABS/ESP en camiones (componentes).



↑ **Figura 11.40.** Esquema de las válvulas emparejadas de la válvula de regulación del ABS.

Válvulas de regulación del ABS

Las válvulas de regulación del ABS se montan en la entrada de aire al émbolo de accionamiento y regulan el paso del aire a presión. Cada válvula dispone de dos electroválvulas 2/2 accionadas eléctricamente y con retroceso por muelle. Sin señal eléctrica, una válvula permanece abierta y la compañera cerrada. Según sea necesario, la unidad de control puede abrir o cerrar ambas válvulas para realizar la función correctora de la presión al émbolo.

Sensor de fuerza de frenado

El sensor de fuerza de frenado convierte el recorrido del pedal en una señal de control para la unidad. El sensor se acciona por el pedal y dispone de un circuito neumático de seguridad, en caso de avería de la señal eléctrica.

Modulador de freno del eje trasero

El modulador de freno del eje trasero activa la presión de frenado de este eje según las señales que recibe de la unidad de control.

Válvula de relé proporcional

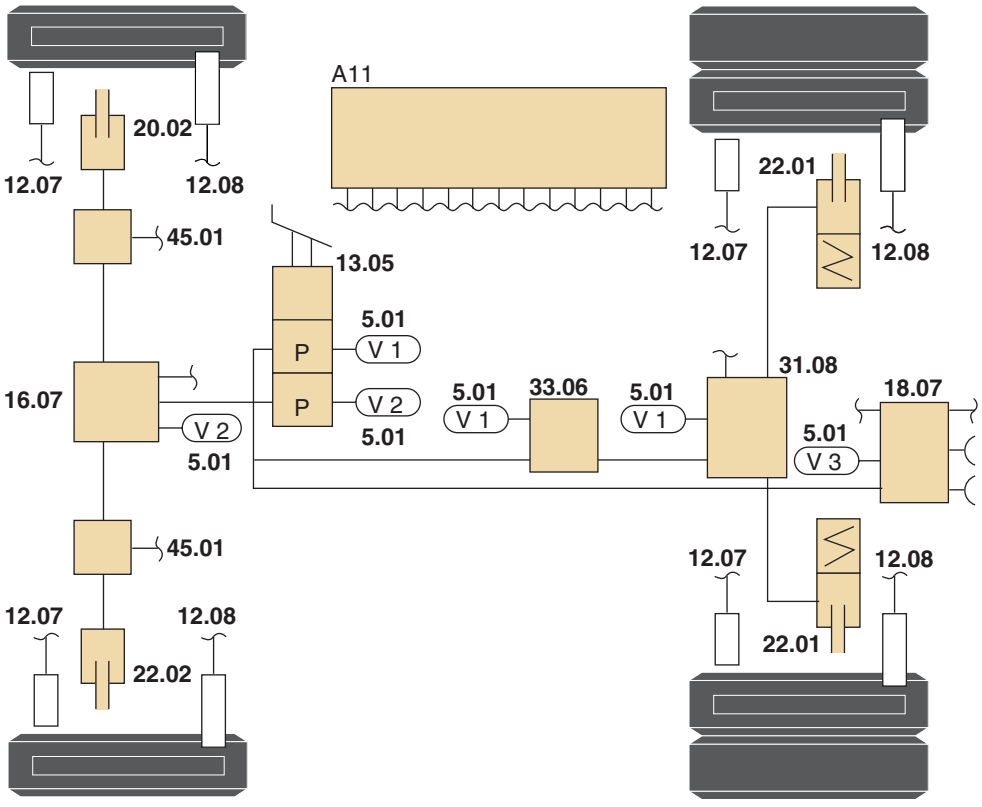
La válvula de relé proporcional regula la presión de frenado en el eje delantero.

Válvula de redundancia

La válvula de redundancia se activa cuando falla el circuito eléctrico del ABS/ESP, y limita la presión de los ejes delantero y trasero.

EPB de cuatro canales

5.01	Depósito de aire comprimido de una cámara
12.07	Sensor de carrera
12.08	Sensor de número de revoluciones
13.05	Transmisor del valor de freno EPB
16.07	Válvula proporcional y de relé (eje delantero)
18.07	Válvula de mando del remolque EPB
20.02	Cilindro de la membrana de un circuito
22.01	Cilindro combinado
31.08	Modulador para eje propulsor (trasero)
33.06	Válvula de redundancia
45.01	Válvula electromagnética de regulación ABS
A11	Unidad de control EPB



↑ **Figura 11.41.** Esquema del circuito de freno electrónico-neumático (EPB) y componentes.

4. Sistema electrónico de frenado EBS

El sistema electrónico de frenado EBS consiste en un sistema de freno antibloqueo regulado electrónicamente de gran potencia de frenado y respuesta inmediata gracias a su regulación electrónica.

Este sistema aumenta la seguridad de los vehículos rígidos y de las plataformas de semirremolque o remolque. Por medio de este sistema, el freno auxiliar y el freno de servicio funcionan conjuntamente para mejorar la seguridad y la eficacia.

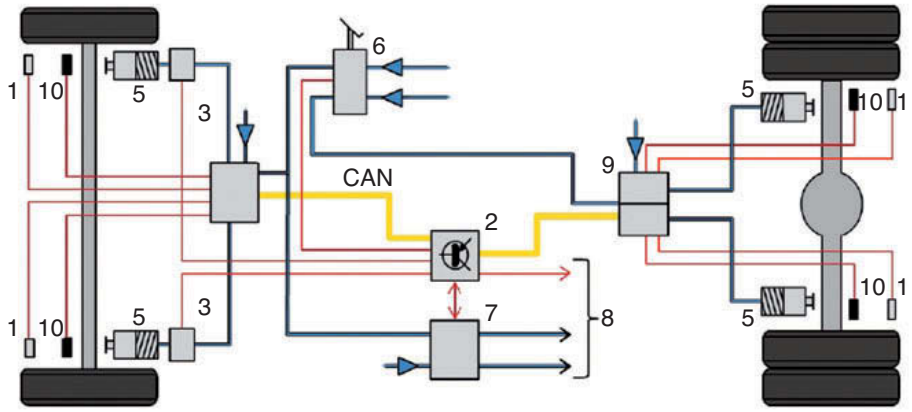
El sistema de freno EBS se monta generalmente en vehículos industriales con suspensión neumática y puede instalarse en vehículos con suspensión mecánica.

saber más

Gracias al sistema EBS, los frenos auxiliares se activan para reforzar la acción del freno de servicio.

4.1. Constitución y funcionamiento del sistema

El sistema EBS está constituido por los siguientes componentes:



1. Sensor de velocidad de la rueda
2. Unidad de control del EBS
3. V Ivula solenoide, ABS
4. Modulador de un canal (delantero)
5. Cilindro de freno
6. V Ivula del freno de servicio
7. Modulador del control del trailer
8. Salidas para el trailer
9. Modulador, de dos canales
10. Sensor de desgaste de las pastillas, LWS

↑ **Figura 11.42.** Componentes del EBS en un vehículo 4x2.

Sensor de velocidad de la rueda

El sensor de velocidad envía al modulador la señal de rotación de la rueda. El modulador transforma la señal de rotacion en velocidad y envía esta información a la unidad de control del EBS que usa esta velocidad para determinar la fuerza de aplicación y el comportamiento de los frenos.

El valor de la velocidad es transferido por el bus de datos para ser usado por otras unidades de control.

Válvula solenoide, ABS

La válvula solenoide está compuesta por dos solenoides y dos membranas comandadas de forma neumática.

Los solenoides reaccionan a las señales de comando de la unidad de control en fracciones de segundo, y actúan sobre la presión de los cilindros de freno de las ruedas delanteras y traseras.

Cilindro de freno

Consiste en un cilindro neumático similar al estudiado en los sistemas de freno neumáticos.

Está gobernado neumáticamente por el modulador y actúa sobre el eje excéntrico de la pinza para el accionamiento de los émbolos de empuje de las pastillas.

↑ **Figura 11.43.** Cilindro de freno delantero.

Válvula del freno de servicio

La válvula del freno de servicio consiste en una válvula de pedal con funciones eléctricas.

En la válvula hay instalados dos potenciómetros que transmiten la posición del pedal de freno a la unidad de control y las señales referentes a la desaceleración requerida.

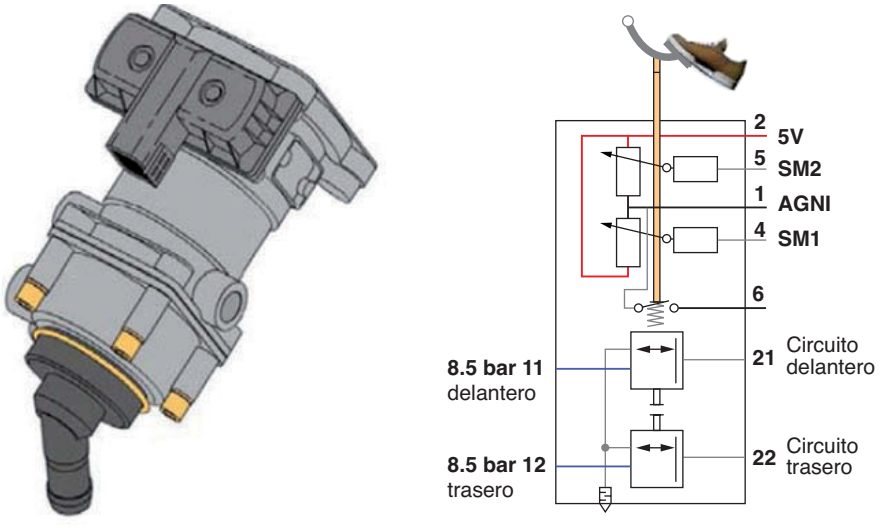
Si la diferencia entre las señales de los dos potenciómetros es superior al valor permitido, el EBS se desactiva, y los frenos son accionados con el aire comprimido que viene de la válvula del pedal de freno (señal *backup*).

La válvula del pedal de freno va también equipada con una llave interna para la función «despertar» (6), que envía una señal a la unidad de control cuando se presiona el pedal del freno, y se activa el sistema EBS entero, aunque la llave de la arranque esté en la posición cero.

La parte neumática de la válvula del pedal de freno funciona como un sistema reserva (*backup*) en el caso de fallo en el sistema eléctrico. La válvula del pedal de freno es alimentada con el aire comprimido del circuito trasero (entrada 12) y delantero (entrada 11) (véase figura 11.44).

Al ser accionado el pedal del freno, se envían señales eléctricas a la unidad de control que, a su vez, transmite las señales para las válvulas de los moduladores, e indica el accionamiento de los frenos solicitado. La parte neumática de la válvula del pedal de freno también es activada al ser accionado el pedal del freno, enviando aire comprimido al modulador del eje trasero, por la salida 22, y para el modulador delantero, por la salida 21. Al ser más rápida la señal eléctrica que la neumática, es la señal eléctrica es la primera a llegar a las válvulas moduladoras, que después de hacer una verificación de las señales recibidas decide si utiliza la señal eléctrica o la neumática (*backup*).

Si se acciona el pedal del freno y la señal enviada es hasta de 2 bares, solo el circuito frontal de la válvula recibe la presión controlada. Cuando la presión pasa de 2 bares, la válvula del circuito trasero del pedal del freno empieza también a ser alimentada con presión controlada. Esta diferencia de presión tiene como objetivo permitir diferencias de presión cuando el sistema EBS se encuentra en el modo reserva (*backup*), es decir, cuando el sistema EBS está usando las señales neumáticas de la válvula del pedal del freno.



↑ **Figura 11.44.** Válvula del freno de servicio y esquema electroneumático.

Unidad de control del EBS

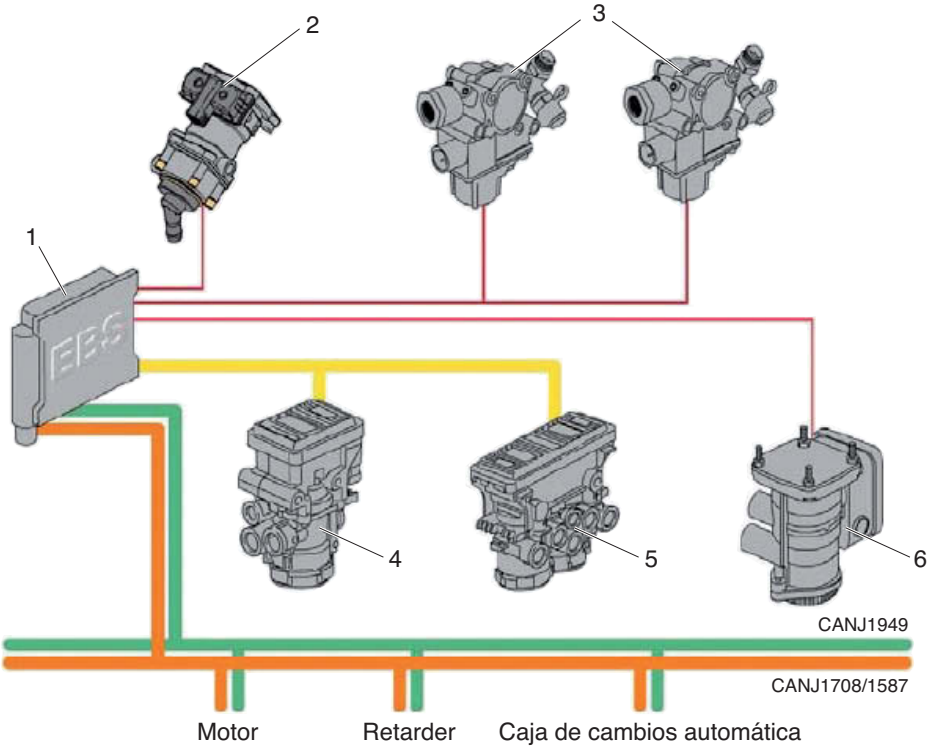
La unidad de control determina el cálculo de accionamiento del freno, tanto en el vehículo, como en el remolque o semirremolque si lo equipase.

Esta va conectada mediante el bus de datos con los moduladores y recibe información eléctrica de la válvula del pedal de freno, de la válvula solenoide, etc. También está conectada a los *data links* del sistema en los hay intercambio de informaciones con otras unidades de control, tales como: unidad de control del motor, unidad de control del vehículo y caja de cambios automática.

↑ **Figura 11.45.** Unidad de control del EBS.

La unidad de control está compuesta por los grupos funcionales siguientes:

- Fuente de energía para generar una tensión de alimentación estabilizada de 5 voltios.
- Circuito de entrada para la preparación de las señales de entrada del transmisor de la fuerza de frenado.
- Microprocesadores.
- Alimentación modular que conecta sucesivamente los módulos reguladores de presión y entrega su dirección CAN.
- Tres componentes CAN con las interfaces siguientes: CAN según SAE J 1939 hacia otras unidades de control, CAN «remolque» según ISO 11992, CAN «freno» hacia los módulos reguladores de presión y al módulo de control de remolque.
- Etapas finales de salida hacia las lámparas de advertencia y de información y hacia el relé de freno continuo.
- Un interface de diagnóstico según ISO 14230.



1. Unidad de control del EBS
2. V lvula del pedal del freno
3. V lvula solenoide, ABS
4. Modulador de un canal
5. Modulador de dos canales
6. Modulador del control del tr iler

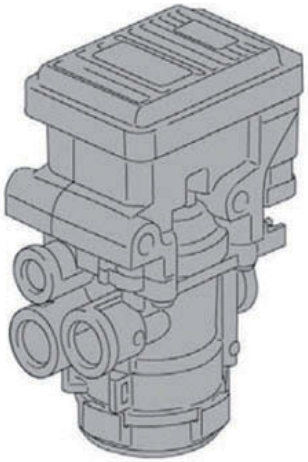
↑ **Figura 11.46.** Sistema EBS de tres canales.

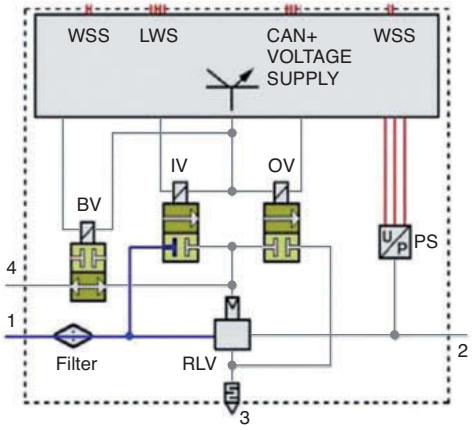
Modulador

El modulador es una válvula relé eléctrica con accionamiento neumático del freno. El modulador se divide en dos partes: eléctrica y neumática. La parte eléctrica se compone de una válvula del sistema *backup*, válvula de alimentación, válvula de descarga y sensor de presión. La parte neumática se compone de una válvula relé.

Los sensores de presión, de desgaste de la pastilla y de rotacion de la rueda alimentan el modulador con señales de información. El modulador transfiere dichas señales para la unidad de control del sistema EBS a través de una conexión CAN. La unidad de control calcula la presión de frenado necesaria y envía una señal de control de vuelta al respectivo modulador.

Modulador del control del tráiler



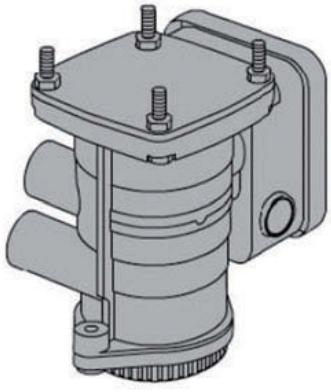


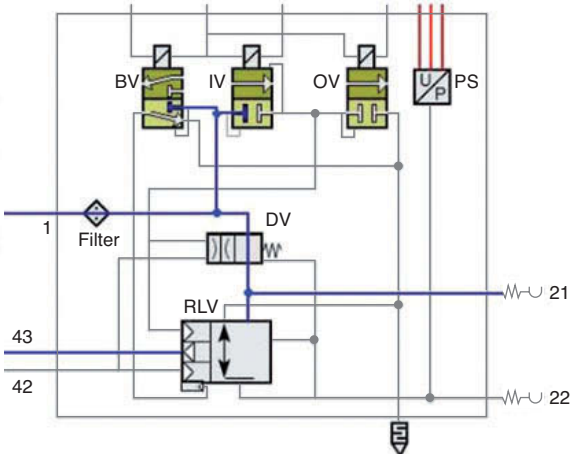
1 Alimentaci n del tanque de aire
2 Salida para el cilindro de freno
3 Descarga
4 Se al de comando de la v lvula del pedal de freno
IV V lvula de alimentaci n
OV V lvula de descarga
BV V lvula backup
RLV V lvula rel
LWS Sensor de desgaste de la pastilla
WSS Sensor de velocidad de la rueda
ECU Unidad de Control
PS Sensor de presi n

↑ **Figura 11.47.** Modulador, de un canal (delantero).

El modulador del tráiler se usa cuando el tráiler no tiene el sistema EBS. La unidad de control del EBS envía las señales directamente a las válvulas electroneumáticas del modulador a través de un cable de conexión.

Este componente se encarga de modular la presión de frenado del tráiler (salida 22) mediante los datos obtenidos por la unidad de control: carga, nivel de presión y distribución de frenado, etc.





Modulador del tr iler (para trailers sin EBS)

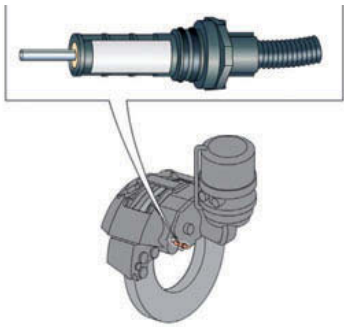
1 Alimentaci n del tanque
21 Circuito de alimentaci n, tr iler
22 Circuito de control, tr iler
42 Freno de servicio, ruedas delanteras
43 Freno de estacionamiento
IV V lvula de alimentaci n
OV V lvula de descarga
BV V lvula del sistema *backup*
RLV V lvula rel
SD Salida
PS Sensor de presi n
FI Filtro
DV V lvula retenedora de presi n

↑ **Figura 11.48.** Modulador del control del tráiler.

Sensor de desgaste de las pastillas, LWS

Este componente consiste en un sensor capaz de medir el desgaste de la pastilla de freno. Cuando la pastilla llega a menos del 20% del espesor original, se genera un código de error.

Si esto ocurre, se ilumina una luz amarilla en el tablero junto con el aviso «Verificar frenos» en el *display* de informaciones del conductor. La unidad de control monitorea el desgaste al conectar la llave de contacto y al liberar el pedal del freno tras frenar.



↑ **Figura 11.49.** Sensor de desgaste de las pastillas, LWS.

4.2. Funcionamiento del sistema EBS

Durante la marcha, cuando el conductor pisa el pedal del freno, la unidad de mando EBS recibe señales que especifican la demanda de frenado solicitada. Los sensores de velocidad de las ruedas y de desgaste de los forros de los frenos envían información a la unidad de mando la cual determina la presión de frenado para cada eje y rueda. Los moduladores regulan la presión de aire que llega a los cilindros de freno.

↑ **Figura 11.50**. Módulo EBS montado en el vehículo.

El sistema ESB puede realizar entre otras las siguientes funciones:

- **Función de freno antibloqueo y sistema de estabilidad electrónico.** La función de freno antibloqueo y el sistema de estabilidad electrónico son asumidos por el sistema EBS con el fin de reducir la distancia de frenado, mejorar el confort y aumentar la estabilidad. Durante la intervención del ABS el conductor es alertado a través de un símbolo en el *display* del tablero de instrumentos.
- **Frenado con control de retardación y regulación deslizamiento.** El sistema EBS a partir de las informaciones recibidas de la presión del pedal de freno y de la velocidad de rueda de los diferentes ejes, aprende cuando está cargado el vehículo con el fin de ajustar la presión de freno automáticamente en función de la carga.

  La unidad de mando compara cuanto acelera el vehículo a una determinada aceleración y el tamaño de la retardación a una determinada presión de freno.
- **Distribuye la fuerza de freno.** El sistema EBS distribuye la fuerza de los frenos entre los ejes del vehículo tractor y entre el vehículo tractor y el remolque para que la frenada sea suficientemente potente.

  La fuerza de los frenos se distribuye de modo que las ruedas del eje delantero y trasero giran a la misma velocidad. Si los sensores de velocidad de rueda detectan que las ruedas traseras giran más lentamente que las delanteras, la fuerza de freno aumenta delante y disminuye detrás automáticamente hasta que las ruedas tienen la misma velocidad.

saber más

El sistema EBS aprende por sí mismo si el vehículo está cargado o descargado, sin ayuda del sensor sensible a la carga.

Compensación de desgaste de los forros de las pastillas por eje

En todos los frenos de rueda se halla un sensor de desgaste de forro que da información a la unidad de mando sobre su espesor cada vez que la llave de contacto gira en posición de encendido. Con ayuda de esta información se ajusta la presión de freno entre los ejes delantero y trasero de manera que los forros se gastan lo más regularmente posible. La fuerza total de frenado es sin embargo la misma.

Adaptación de los frenos del vehículo tractor-remolque

La adaptación de frenos automática optimiza la presión de freno entre el vehículo tractor y remolque, lo cual comporta un desgaste más regular de los forros de freno y una mejor estabilidad entre el tractor y el remolque. La presión de frenos en el remolque puede ser ajustada entre +1,5 hasta -0,5 bar, comparado con la presión de frenos del vehículo tractor.

Cuando el remolque está equipado con EBS todo el tren trabaja con «control de resbalamiento». La fuerza de frenado se distribuye de manera que la velocidad de las ruedas del vehículo tractor y remolque sea equivalente.

Protección de vuelco

El sistema EBS reduce la presión de frenos delantera si las ruedas traseras tienden a bloquearse. Con esto se evita que en bajadas pronunciadas la parte posterior del vehículo se eleve y este pueda volcar hacia adelante.

Brake Blending (BBL) (Miscibilidad de freno)

Esta función consiste en utilizar, cuando el vehículo está cargado, el freno adicional para reducir el desgaste de los frenos de servicio.

Advertencia de temperatura de los frenos

El sistema advierte al conductor de la temperatura de los frenos mediante una lámpara de advertencia que se ilumina en el tablero de abordo por la alteración de la curva característica de la fuerza del pedal de freno.

Control de semirremolque enganchado (TB)

Esta función permite realizar un control de seguridad al cambiar el remolque, verificando que está enganchado. Cuando la función está conectada, el sistema EBS controla una presión constante al remolque de 4 bar.

La función se conecta cuando el botón se mantiene presionado y la velocidad del vehículo es inferior a 4 km/h y se desconecta cuando la velocidad es superior a 7 km/h o cuando se suelta el botón.

Función antirresbalamiento (TCS)

El sistema de control de tracción (TCS) está siempre activo y actúa para reducir el resbalamiento de las ruedas propulsoras a fin de mantener la estabilidad.

Si las ruedas propulsoras resbalan, el sistema EBS lo detecta comparando la velocidad de las ruedas propulsoras y la de las ruedas no propulsoras. El EBS entiende también que una de las ruedas de algún eje propulsor empieza a resbalar.

Esta función puede ser desconectada por el conductor, pero se conecta automáticamente si la velocidad sobrepasa aproximadamente los 12 km/h.

El sistema de control de tracción actúa sobre:

- La regulación del par motor.
- La regulación de los frenos

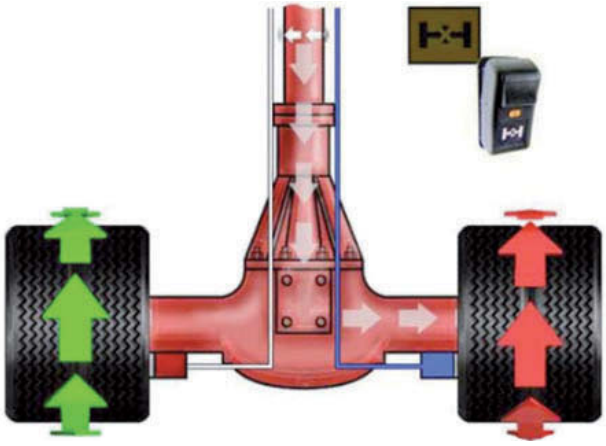
↑ **Figura 11.51.** Función antirresbalamiento activada.

Bloqueador de diferencial

La función de bloqueo del diferencial sincroniza las velocidades de las ruedas propulsoras antes de conectar el bloqueador del diferencial.

El sistema usa las funciones del TCS para sincronizar el giro de las ruedas y limitar la potencia del motor y acciona los frenos de la rueda que está patinando antes que el bloqueo del diferencial sea efectivo.

El bloqueador de diferencial automático (DLC) existe solo en vehículos con un eje propulsor y se activa automáticamente cuando las ruedas propulsoras empiezan a girar con diferentes velocidades. Antes de que la función entre en acción, las velocidades de las ruedas se sincronizan. Funciona a velocidades inferiores a 15 km/h y se desactiva automáticamente si la velocidad supera los 15 km/h.



↑ **Figura 11.52.** Bloqueo del diferencial.

Arranque auxiliar en cuesta

El arranque auxiliar en cuesta ayuda al conductor a iniciar la marcha del vehículo en una pendiente. Activando esta función, los frenos no se desaplican directamente sino que el conductor dispone de un poco más de tiempo para acelerar. La función se desactiva al pulsar el interruptor una segunda vez.

El arranque auxiliar en cuesta actúa de diferentes maneras según el tipo de caja de cambios.

Caja de cambios manual: la presión de los frenos se mantiene hasta que el pedal del embrague se suelta o hasta que se alcanza un determinado par motor.

Caja de cambios automática: la presión de los frenos se mantiene constante un cierto tiempo después de soltar el pedal del freno o hasta que se alcanza un determinado par motor.

Asistencia del freno de pánico

Si se presiona el pedal del freno rápidamente el sistema asume que se trata de una frenada de emergencia. La presión de freno solicitada aumenta automáticamente para conseguir una mayor retardación.

Vigilancia de freno de rueda

La función advierte al conductor si alguna de las ruedas frena peor que las otras, por ejemplo, si algún forro de freno tiene aceite.

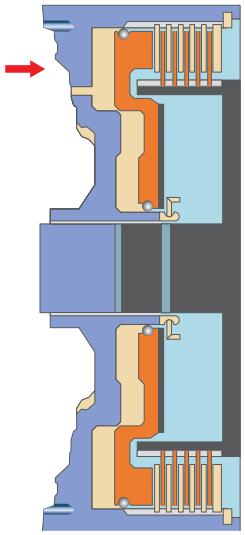
5. Sistema de freno en vehículos agrícolas

↑ **Figura 11.53.** Salida de presión para el freno de remolque.

Los tractores disponen de sistemas de freno adaptados a las particularidades del trabajo que realizan. Estos, solamente disponen de frenos en el eje trasero, lo que les permite frenar una sola rueda y facilitar el giro. También disponen de salidas de presión para los frenos de remolque (véase figura 11.53).

Los circuitos de freno se diseñan de modo independiente. Disponen de un pedal para frenar cada una de las dos ruedas traseras; el pedal de freno izquierdo frena la rueda trasera izquierda y el pedal derecho, la trasera derecha. Si se unen, el circuito actúa conjuntamente y frenan las dos ruedas (véase figura 11.54). El líquido o aceite de freno que emplean es el mismo que el utilizado en el circuito hidráulico.

↑ **Figura 11.54.** Pedales de freno unidos.



↑ **Figura 11.55.** Freno de discos.

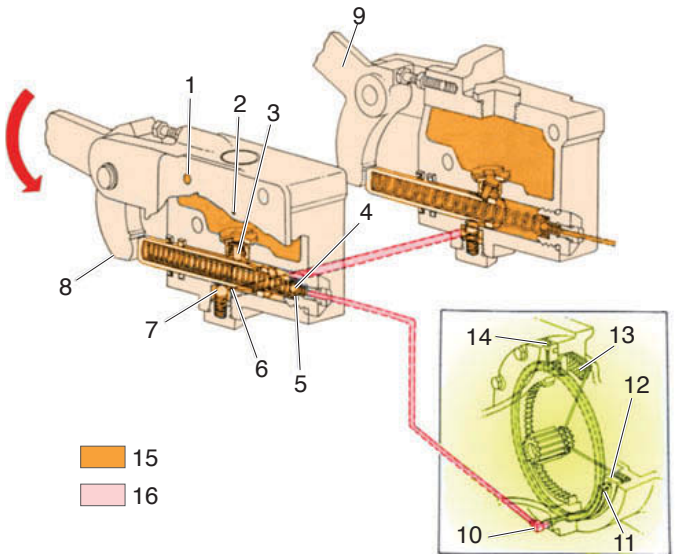
Como freno de ruedas, actualmente se montan frenos de discos bañados en aceite. El freno de ruedas en los tractores debe estar cerrado para evitar que entre suciedad desde el exterior.

5.1. Constitución y funcionamiento

El conjunto dispone, principalmente, de los siguientes elementos:

- Un cilindro principal con dos pistones (derecho e izquierdo) que se accionan cada uno por medio de un pedal.
- Canalizaciones.
- Conjunto de freno de rueda (pistones anulares, platos de presión y discos de freno).

El funcionamiento del circuito es similar al de un automóvil. Los componentes realizan la misma función y las diferencias radican en las particularidades del circuito.



↑ **Figura 11.56.** Constitución y funcionamiento de un freno de discos.

El nivel en el depósito se mantiene por el orificio (1), que es el sobrante por el que retorna el aceite al depósito de líquido principal. El depósito dispone de una válvula antirretorno (3) que permite que se llene el cilindro de líquido, pero que cuando se pisa el pedal no deja que el líquido vuelva al depósito.

Cuando un pedal se pisa con fuerza, el pistón correspondiente (6) se desplaza hacia delante sobrepasando la presión del resorte y del aceite en el cilindro.

Al continuar el pistón su movimiento, cierra la válvula antirretorno (3) cortando el suministro de líquido al cilindro, al tiempo que el aceite levanta el asiento de la bola (4) para permitir que el aceite a presión se desplace por las canalizaciones hasta el freno de rueda. La presión de aceite en la trompeta aplica la presión sobre el anillo (11) y el disco de presión (12).

El anillo impulsa el disco de freno (13) contra la carcasa de la transmisión, y detiene de este modo el palier y, en consecuencia, la rueda que está comandada por el pedal.

En esta explicación solamente se ha accionado un pedal de freno, por lo que la válvula compensadora (7) del otro pedal, permanece cerrada, la presión no se transmite al otro cilindro.

Al soltar el pedal y suprimir la presión del disco (13), girará nuevamente y el aceite retornará al cilindro. La rapidez con que el líquido vuelve al cilindro se regula por la bola (4).

En cambio, si se oprimen los dos pedales simultáneamente, las válvulas compensadoras (7) se abren en ambos cilindros. Gracias a la presión hidráulica del cilindro y a la apertura de las válvulas, ambos cilindros quedan conectados hidráulicamente por un conducto. Por ello, la presión es igual en los dos cilindros y en los dos discos de freno con lo que se consigue un frenado uniforme.

5.2. Mantenimiento

El mantenimiento de los frenos de los tractores se limita a sustituir los elementos dañados o en mal estado. Todo el conjunto está cerrado y no se puede verificar ningún elemento sin ser desmontado.

Cuando se sustituya algún elemento, será necesario purgar el circuito siguiendo las recomendaciones del fabricante.

saber más

Líquido de frenos en vehículos agrícolas

Los vehículos agrícolas no emplean líquido de frenos del tipo DDT, como la mayoría de automóviles. El líquido de los frenos es el aceite del circuito hidráulico y en muchos modelos es el mismo que el de la caja de cambios.

ACTIVIDADES FINALES

1. Diseña un circuito de freno con fuerza auxiliar neumática.

   Enumera los elementos constituyentes y la función que cada uno realiza en el circuito.

2. Enumera los frenos continuos que más se emplean en vehículos industriales.

3. ¿Qué función realiza el deshidratador o secador en el circuito?

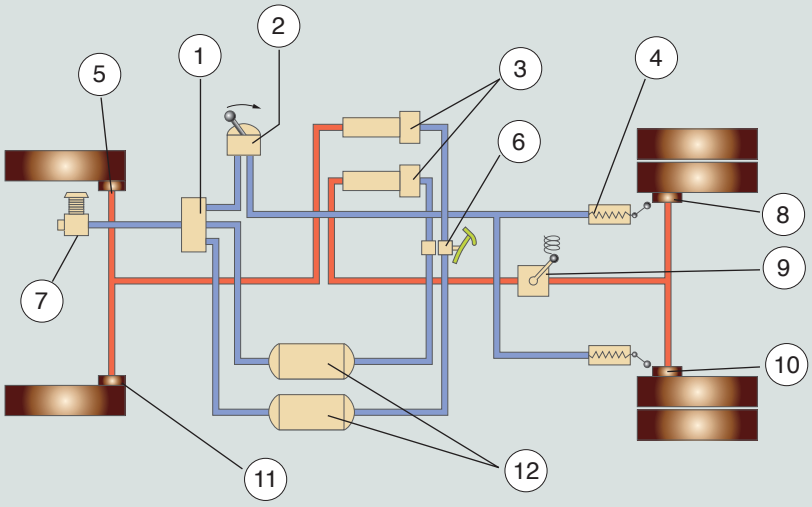
4. ¿Qué ventajas ofrecen los sistemas de freno continuo?

5. Explica el funcionamiento básico de un freno motor.

6. Describe el funcionamiento de un freno continuo de tipo hidrodinámico.

7. Explica cómo se disipa el calor que se genera en el freno continuo en el proceso de frenado.
   - Freno motor
   - Hidrodinámicos
   - Eléctricos

8. Escribe en tu cuaderno el nombre de los elementos del siguiente esquema de un sistema de freno hidroneumático



↑ **Figura 11.57.**

9. ¿Qué tipo de freno emplean los tractores como freno de ruedas? Explica las características de este tipo de freno.

   ¿Qué líquido emplean?

   ¿Cómo son diseñados los pedales?

   ¿Cómo se realiza el purgado?

10. ¿Qué es y para qué sirve el modulador del sistema de freno EBS?

EVALÚA TUS CONOCIMIENTOS

Resuelve en tu cuaderno o bloc de notas

1. ¿Qué vehículos emplean el accionamiento de los frenos neumáticos?

a. Los automóviles.

b. Las furgonetas y camionetas.

c. Los camiones de menos de 7,5 toneladas.

d. Los camiones de más de 7,5 toneladas.

2. ¿Cuál es el elemento encargado de generar la presión neumática?

a. El calderín.

b. El compresor.

c. La bomba.

d. El deshidratador.

3. En un circuito de freno neumático, ¿qué elemento se encarga de secar y limpiar el aire de partículas.

a. El deshidratador

b. El regulador de presión.

c. La válvula reguladora ALB.

d. El cilindro de freno.

4. ¿Con qué nombre se conoce el dispositivo de seguridad entre los distintos circuitos?

a. Válvula protectora de cuatro servicios.

b. Válvula reguladora ALB.

c. Válvula de accionamiento del circuito.

d. Calderín de reserva.

5. ¿Cómo se denomina la válvula que regula y limita la frenada en el eje trasero?

a. Válvula protectora de cuatro servicios.

b. Válvula reguladora ALB.

c. Válvula de accionamiento del circuito.

d. Válvula del retárder.

6 ¿Cuando se conecta el freno motor, ¿cómo se encuentra la alimentación del motor?

a. La alimentación del motor no se modifica.

b. Se corta la alimentación del motor.

c. Aumenta la alimentación.

d. Se conecta también el freno hidrodinámico y la alimentación del motor se corta.

7. ¿Cómo se disipa el calor generado en el retardador hidrodinámico?

a. No es necesario disipar el calor, el propio sistema se enfría solo.

b. Por medio de aletas.

c. Con un intercambiador de calor aceite-aire.

d. Con intercambiadores de calor aceite-agua y el circuito de refrigeración del camión.

8. El retárder ¿dentro de qué grupos de frenos se encuadra?

a. En los frenos hidráulicos.

b. En los frenos continuos.

c. En los frenos eléctricos.

d. En los frenos para tractores.

9. En un retardador hidrodinámico, ¿qué elemento emplea el conjunto rotor y estator para funcionar?

a. Líquido refrigerante del circuito del camión.

b. Aceite del motor.

c. Aceite del cambio o aceite propio.

d. Gasóleo.

10. ¿Qué líquido de frenos emplean normalmente los tractores?

a. Líquido de frenos LHM.

b. Líquido de frenos tipo DOT, igual que los automóviles.

c. Aceite del motor.

d. Aceite del circuito hidráulico.

PRÁCTICA **PROFESIONAL**

HERRAMIENTAS

No se precisan

MATERIAL

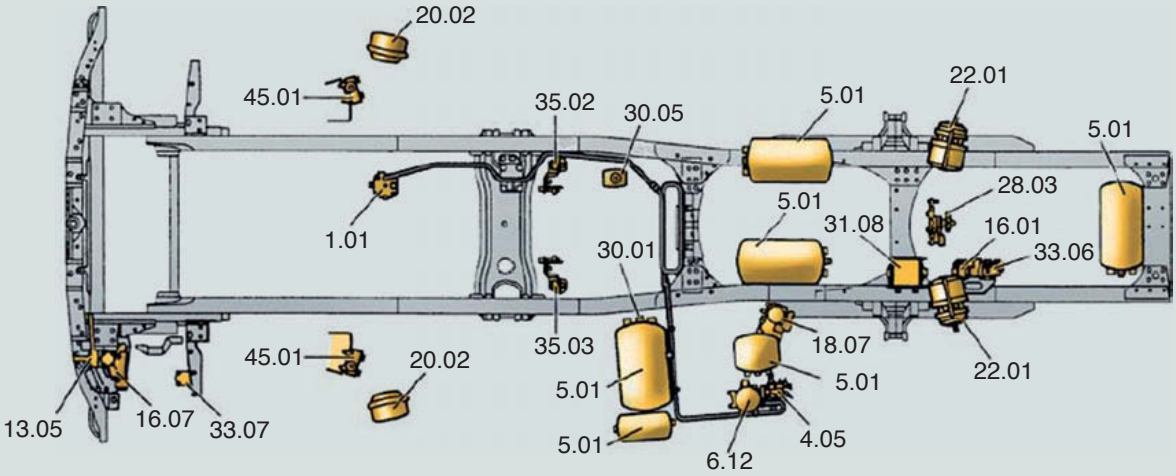
- Esquema del sistema de freno

Localización de componentes en un esquema de un sistema de freno electro-neumático

OBJETIVO

Localizar e identificar en el esquema del fabricante los componentes del freno electrónico-neumático.

DESARROLLO



↑ **Figura 11.58.**

Los componentes que aparecen en el esquema son los siguientes:

- 1.01. Compresor.
- 4.05. Válvula protectora de cuatro circuitos.
- 6.12. Secador de aire comprimido con regulador de presión integrado.
- 5.01. Depósito de aire comprimido de una cámara.
- 13.05. Transmisor del valor de freno EPB (pedal de frenos).
- 16.01. Válvula de relé, freno trasero, eje trasero.
- 16.07. Válvula proporcional y de relé.
- 18.07. Válvula de mando del remolque EPB.
- 20.02. Cilindro de membrana de un circuito.
- 22.01. Cilindro combinado.
- 28.03. Válvula selectora.
- 30.01. Válvula de seguridad.
- 30.05. Válvula limitadora de presión.
- 31.08. Modulador para eje propulsor.
- 33.06. Válvula de redundancia.
- 35.02. Cabeza de empalme para sistema.
- 35.03. Cabeza de empalme para freno.
- 45.01 Válvula electromagnética de regulación ABS.

Sustitución del filtro secador de aire comprimido de un camión

HERRAMIENTAS

- Herramientas manuales del electromecánico

MATERIAL

- Filtro nuevo
- Juego de juntas nuevas

OBJETIVO

Realizar el cambio del filtro secador del circuito del aire comprimido del sistema de freno de un camión.

PRECAUCIONES

- Para cambiar el filtro, el circuito debe estar sin presión. Para ello, el conjunto secador dispone de un tornillo para extraer la presión del circuito.
- La presión también se puede quitar en los calderines y abriendo el rácor de salida.

DESARROLLO

El camión entra al taller con el filtro secador gastado y saturado de humedad (agua) (véase la figura 11.59).

1. Extraer la presión del circuito abriendo el racor de salida de aire. Aflojar el filtro, empleando una llave de filtros adecuada (véase figura 11.60).

↑ **Figura 11.59.** Filtro secador a sustituir

↑ **Figura 11.60.** Desmontaje del filtro.

2. Con el filtro extraído, se limpian las superficies y se cambian las juntas y anillos tóricos (véase figura 11.61). Con las juntas nuevas se monta el nuevo filtro apretándolo previamente a mano y posteriormente con la llave de filtros (véase figura 11.62).

↑ **Figura 11.61.** Limpieza y cambio de juntas

↑ **Figura 11.62.** Ajuste del filtro nuevo.

MUNDO **TÉCNICO**

Permanecer en el carril

Los accidentes por derrapajes o vuelco están entre los incidentes más comunes en que se ven implicados los camiones, por eso Volvo ha desarrollado el programa electrónico de estabilidad (ESP) para sus vehículos que ayudaran a evitarlos.

Gracias a la interacción entre el sistema de freno electrónico del camión, el sistema de gestión del motor y el ralentizador, y el sistema de freno del remolque, el sistema ESP contrarresta las fuerzas que hacen que el camión se salga de la carretera.

El sistema está compuesto por tres sensores situados en la cabeza tractora que miden el ángulo de giro, la aceleración lateral y la posición del volante. Una unidad de mando calcula constantemente las lecturas de entrada y, cuando estas no coinciden, los frenos se activan individualmente en una o varias ruedas, según sea necesario. Al mismo tiempo, se reduce el par motor para disminuir la velocidad hasta que el camión recupere el equilibrio.

El ESP resulta muy eficaz en situaciones de posible peligro, tales como:

Excesiva velocidad en curvas (por ejemplo en las curvas que se estrechan, las salidas de autopista, las travesías urbanas, etc.).

Volantazos para evitar obstáculos (por ejemplo, por incorporaciones imprevistas desde el arcén a la carretera).

Semirremolque cargado en curvas estrechas sobre superficies resbaladizas (efecto «tijera» en las curvas).

Fuente: www.volvo.com

↑ **Figura 11.63.** Prueba del sistema ESP montado en un tráiler en un circuito de pruebas.

EN **RESUMEN**

SISTEMA DE FRENO EN VEHÍCULOS INDUSTRIALES

- **Sistema de freno hidráulico** → Similar al utilizado en los automóviles pero sobredimensionado
- **Sistema de freno hidroneumático** → En lugar de utilizar presión hidráulica utiliza presión neumática proveniente del circuito neumático del vehículo.
- **Sistema de freno neumático** → Combina la neumática para la fuerza auxiliar y el comandado del circuito, y la hidráulica para el accionamiento de pinzas y bombines.
- **Freno continuo**
  - Freno motor con válvula en el tubo de escape → Actúa sobre la salida de los gases de escape.
  - Retardador hidrodinámico (retárder e intárder) → Similar al embrague hidráulico pero actuando como freno.
  - Retardador eléctrico (freno eléctrico) → La corriente eléctrica que circula por un bobinado actúa mediante un campo magnético como freno.
- **Sistema de freno ABS** → Similar al sistema utilizado en los automóviles pero los elementos son neumáticos.
- **Sistema de frenado EBS** → El sistema de freno integra numerosas funciones: ABS, ESP, TCS, TB, etc. Especialmente diseñado para camiones con o sin remolque.

SISTEMA DE FRENO EN VEHÍCULOS AGRÍCOLAS

- **Freno de servicio**
  - Frenos de discos bañados en aceite en el eje trasero.
  - Accionamiento hidráulico.

entra en internet

1. Busca información sobre los nuevos sistemas de freno montados por los vehículos industriales y analiza con tus compañeros las diferencias entre estos. Como por ejemplo:
   - <www.wabco-auto.com>
   - <www.scania.es>

12 El freno de estacionamiento

vamos a conocer...

1. El freno de estacionamiento
2. Disposición del freno de estacionamiento
3. Freno de estacionamiento mecánico
4. Freno de estacionamiento eléctrico-electrónico con cable
5. Freno de estacionamiento electromecánico
6. Freno de estacionamiento neumático
7. Freno de estacionamiento para vehículos agrícolas

PRÁCTICA **PROFESIONAL**

Ajuste del freno de estacionamiento mecánico (sistema de disco)

Ajuste del freno de estacionamiento mecánico (sistema de tambor en disco)

MUNDO **TÉCNICO**

SKF presenta el freno de estacionamiento electrónico para vehículos agrícolas

y al finalizar esta unidad...

- Estudiarás los sistemas de freno de estacionamiento utilizados por los vehículos.
- Identificarás los elementos y piezas de los sistemas de freno de estacionamiento.
- Conocerás las causas de avería del freno de estacionamiento.
- Conocerás cómo se realizan los controles y ajustes del freno de estacionamiento siguiendo las especificaciones técnicas.

CASO **PRÁCTICO** INICIAL

situación de partida

Pedro ha viajado a Berlín para comprar un vehículo usado que había visto por internet. El vehículo que ha adquirido ha sido un Volkswagen Passat TDI con 105.000 kilómetros en perfecto estado de chapa.

Al llegar a Madrid, Pedro decide realizar una revisión exhaustiva del vehículo con el fin de dejarlo preparado para las vacaciones del verano.

Pedro lleva el vehículo al taller multimarca de un amigo el cual le cambia el líquido refrigerante, el aceite y los filtros (aceite, gasóleo, aire, polen).

También le revisa el nivel del líquido de la dirección asistida y el nivel del líquido de frenos, observando que este último se encuentra muy bajo.

El mecánico, tras desmontar las ruedas para ver el estado de las pastillas y de los discos, observa que las pastillas delanteras se encuentran en buen estado pero, en cambio, las pastillas traseras se encuentran desgastadas y hay que sustituirlas.

Pedro le indica al mecánico que no hay ningún problema y que las cambie.

Cuando el mecánico inicia la operación de sustitución de las pastillas de las ruedas traseras, observa que el vehículo que ha adquirido Pedro lleva freno de estacionamiento electromecánico y que para realizar el cambio de pastillas necesita un equipo de diagnosis que le permita manipular el sistema de freno.

Finalmente, el mecánico termina de revisar el vehículo y le comenta a Pedro que para la sustitución de las pastillas del freno trasero no dispone del equipo necesario y le recomienda que lleve el vehículo a un taller oficial para realizar esta operación.

↑ Vehículo adquirido por Pedro en Alemania.

estudio del caso

Antes de empezar a leer esta unidad de trabajo, puedes contestar las dos primeras preguntas. Después, analiza cada punto del tema, con el objetivo de contestar al resto de las preguntas de este caso práctico.

1. ¿Cuál es la función principal del freno de estacionamiento?
2. ¿Qué elementos comparte el freno de estacionamiento de un automóvil del freno de servicio?
3. ¿Cuál puede ser la causa de que el líquido de frenos del vehículo de Pedro se encuentre con un nivel bajo?
4. El mecánico de Pedro ¿puede retroceder manualmente el émbolo de la pinza de freno trasera?
5. ¿Qué se debe hacer en el taller oficial para sustituir las pastillas de freno?

1. El freno de estacionamiento

El sistema de freno de estacionamiento asume la tercera función de frenado. Debe ser capaz de mantener el vehículo detenido, aun en pendientes y en ausencia del conductor. En los automóviles y vehículos industriales ligeros, el freno de estacionamiento es el mismo que en el freno auxiliar y se conoce como freno de mano.

El freno de estacionamiento suele actuar sobre las ruedas traseras del vehículo aunque existen modelos en los que este freno de estacionamiento se monta sobre las ruedas delanteras, incluso sobre el propio eje de transmisión.

↑ **Figura 12.1.** Tirador para el freno de estacionamiento en una scooter.

En algunos modelos, el sistema de freno de estacionamiento utiliza parte de los elementos mecánicos del sistema de freno de servicio del vehículo tanto si este monta frenos de tambor como si monta frenos de disco. En otros, el sistema de freno de estacionamiento es independiente e incorpora elementos nuevos para esta función.

Para automóviles, las normativas de seguridad dictan que el sistema de freno de estacionamiento debe tener una conexión mecánica continua entre el mecanismo de control y el freno en la rueda, por ejemplo, varillas o cable acerado aunque, en la actualidad, se están montando sistemas de freno electromecánico cuyo accionamiento es eléctrico (véase figura 12.2).

En los ciclomotores, motocicletas y quads no se suele montar freno de estacionamiento ya que no es necesario, aunque sí existen modelos que lo disponen (véase figura 12.1).

En los vehículos industriales de gran tonelaje, como por ejemplo en camiones, el freno de estacionamiento suele ser neumático. En estos se aprovecha la instalación neumática del vehículo, que comparte con circuitos como el de suspensión, para el suministro de aire a presión.

↑ **Figura 12.2.** Botón de accionamiento del freno de estacionamiento eléctrico.

2. Disposición del freno de estacionamiento

El freno de estacionamiento se puede instalar compartiendo el sistema de freno de servicio del vehículo o independiente en la transmisión del mismo.

Cuando se realiza sobre los propios frenos del vehículo, se utilizan los componentes del sistema de freno de servicio más un sistema de bloqueo, en cambio, cuando el freno de estacionamiento se encuentra en la transmisión del vehículo, se ha de disponer de un mecanismo propio capaz de bloquear la transmisión en el momento deseado.

2.1. Freno de estacionamiento sobre el sistema de freno

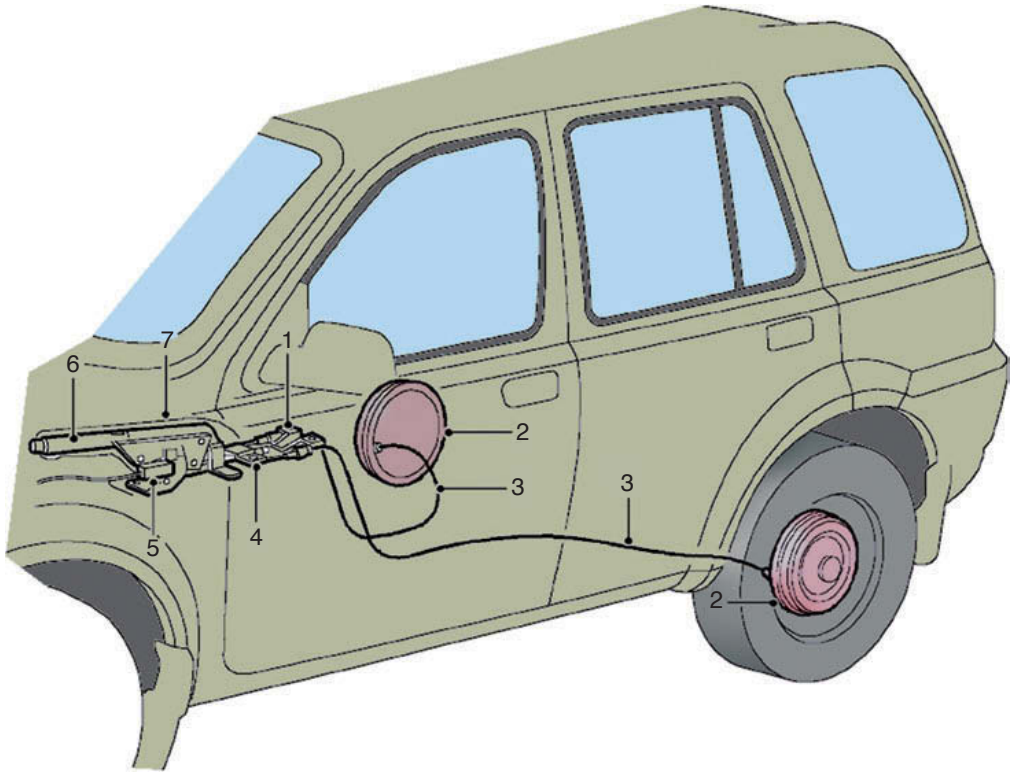
Freno de estacionamiento en el sistema de freno de tambor

En este caso, el freno de estacionamiento suele ser mecánico actuando sobre ambos frenos traseros por medio de uno o dos cables de freno, un igualador y una varilla intermedia acoplada a la palanca del freno.

Al tirar de la palanca del freno, el movimiento es transmitido por la varilla intermedia e igualador a los cables del freno de estacionamiento. Cada cable del freno tira de una palanca en la zapata de freno secundaria. La palanca gira contra el vástago de ajuste del freno, separando las zapatas y apoyando los forros de freno contra el tambor.

Los cables se ajustan con la tuerca de ajuste del freno de estacionamiento, que sujeta el igualador del cable a la varilla intermedia.

↑ **Figura 12.3.** Conexión del cable del freno de estacionamiento con la palanca de accionamiento de la zapata.



1. Soporte de cables/consola
2. Freno trasero de tambor
3. Cable de freno trasero
4. Igualador de cables
5. Interruptor de aviso
6. Palanca del freno de mano
7. Funda

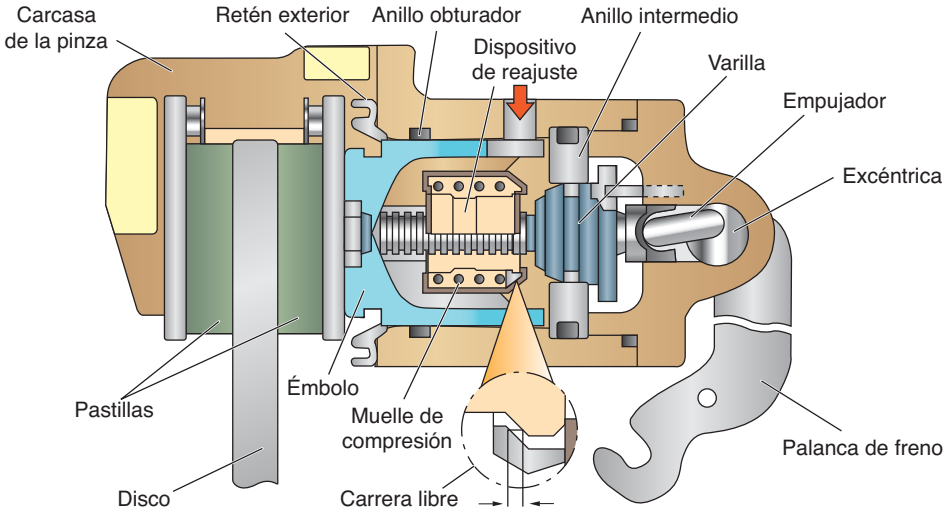
↑ **Figura 12.4.** Freno de estacionamiento en el freno de tambor.

Freno de estacionamiento en el sistema de freno de disco

En el sistema de freno de disco en las ruedas traseras, el freno de estacionamiento mecánico se puede montar mediante dos diseños diferentes:

Freno de estacionamiento en el disco

El primer tipo usa la pinza existente en la rueda trasera y agrega una palanca acoplada a un dispositivo giratorio de accionamiento mecánico en el interior del pistón de la pinza. Cuando el cable del freno de estacionamiento tira de la palanca, este dispositivo giratorio empuja el émbolo contra las pastillas, frenando el vehículo sin utilizar el sistema hidráulico. Este tipo de sistema es utilizado en las pinzas con un pistón flotante simple, si la pinza es del tipo de cuatro pistones fijos, entonces ese tipo de sistema no es aplicable.

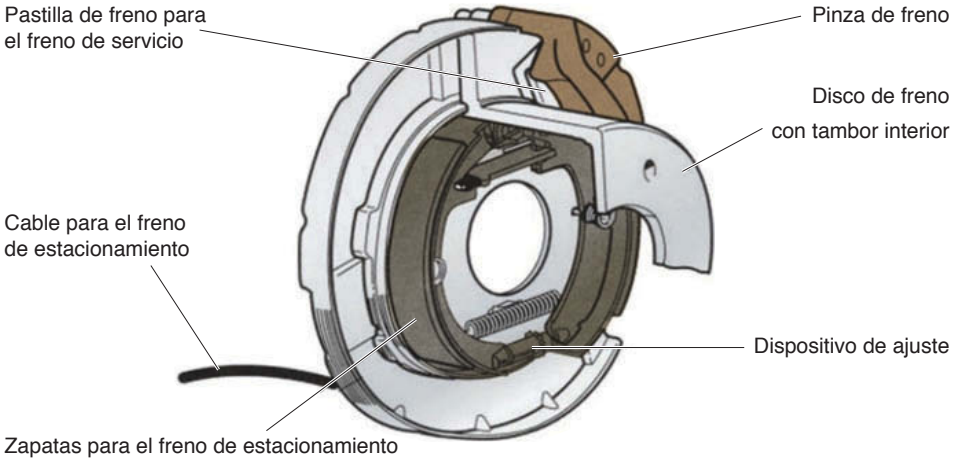


↑ **Figura 12.5.** Freno de estacionamiento en el freno de disco.

Freno de tambor en disco

↑ **Figura 12.6.** Dispositivo de ajuste de las zapatas contra el disco de freno.

El otro sistema usa una unidad completa de tambor de freno en el interior del disco de freno trasero. La zapata de freno en este sistema esta conectada a una palanca que es accionada por el cable del freno de emergencia para activar el freno. El «tambor» es en realidad la parte interior del disco de freno trasero el cual se une mediante tornillos a la rueda.



↑ **Figura 12.7.** Freno de tambor en disco.

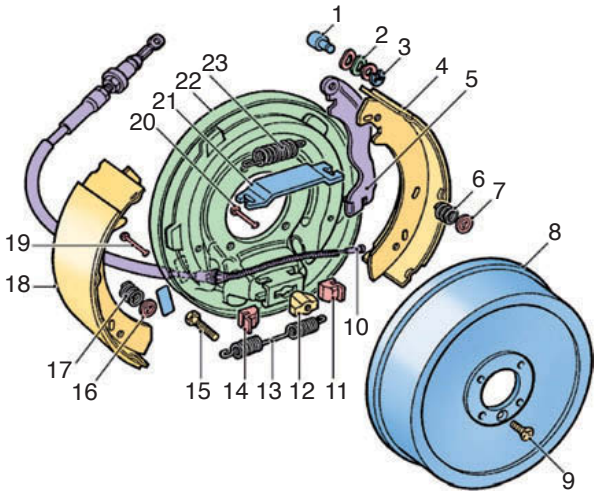
2.2. Freno de estacionamiento en la transmisión

El freno de estacionamiento en la transmisión se suele montar, en vehículos todo terreno con tracción a las cuatro ruedas o con tracción trasera, en el eje de transmisión del vehículo.

Este sistema dispone de un plato portazapatas sujeto a la carcasa de la caja de transferencia y un tambor sujeto al eje de salida trasero de dicha caja. Al tirar de la palanca del freno de estacionamiento «freno de mano», el movimiento es transmitido por el cable a una palanca montada en una de las zapatas de freno en el plato portazapatas. La palanca gira contra el vástago de ajuste del freno, separando las zapatas y apoyándolas contra el tambor, lo que propicia el bloqueo del vehículo.

El juego entre zapatas y tambor se regula con un perno de ajuste situado en la parte trasera del plato portazapatas.

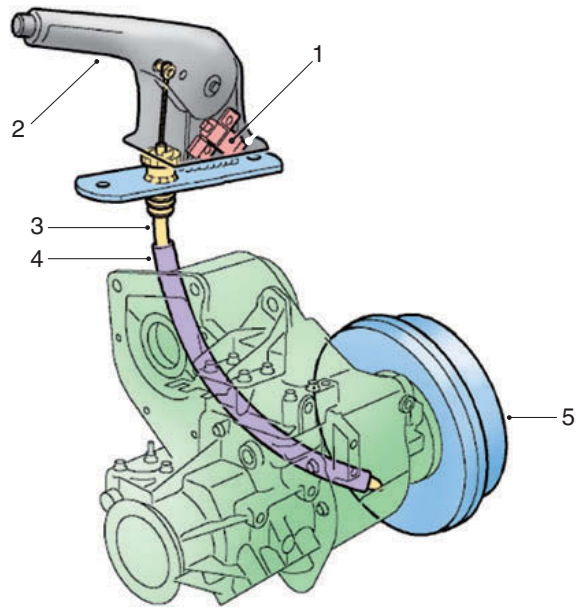
↑ **Figura 12.8.** Freno de estacionamiento de tambor sobre la transmisión.



1. Pasador
2. Arandela
3. Grapa «C»
4. Zapata de freno
5. Palanca del cable
6. Muelle
7. Arandela
8. Tambor de freno
9. Tornillo
10. Cable de freno
11. Guía del regulador
12. Tuerca de ajuste
13. Muelle
14. Guía del regulador
15. Perno de ajuste
16. Arandela
17. Muelle
18. Zapata de freno
19. Pasador de sujeción
20. Pasador
21. Placa de tope
22. Plato portazapatas
23. Muelle

↑ **Figura 12.9.** Mecanismo de freno de tambor en la transmisión.

El accionamiento de este tipo de freno suele ser realizado mediante un mecanismo de palanca y cable situado en el interior del vehículo.



1. Interruptor de aviso
2. Palanca del freno de mano
3. Cable
4. Funda protectora
5. Freno de tambor

↑ **Figura 12.10.** Mecanismo de accionamiento del freno de tambor en la transmisión.

saber más

Algunos sistemas de freno de estacionamiento en la transmisión montan, en lugar de un freno de tambor, un freno de disco con una pinza independiente para su accionamiento.

3. Freno de estacionamiento mecánico

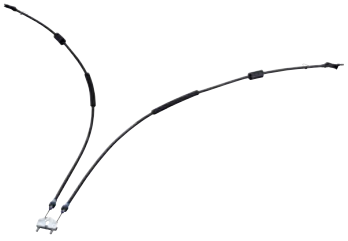
El freno de estacionamiento mecánico consta de un mando mecánico (generalmente una palanca de primer género) y de un dispositivo específico de palancas y varillas o cables que transmiten el movimiento desde el mando del conductor hasta el mecanismo de freno para el bloqueo de las ruedas.

↑ **Figura 12.11.** Palanca para el freno de estacionamiento.

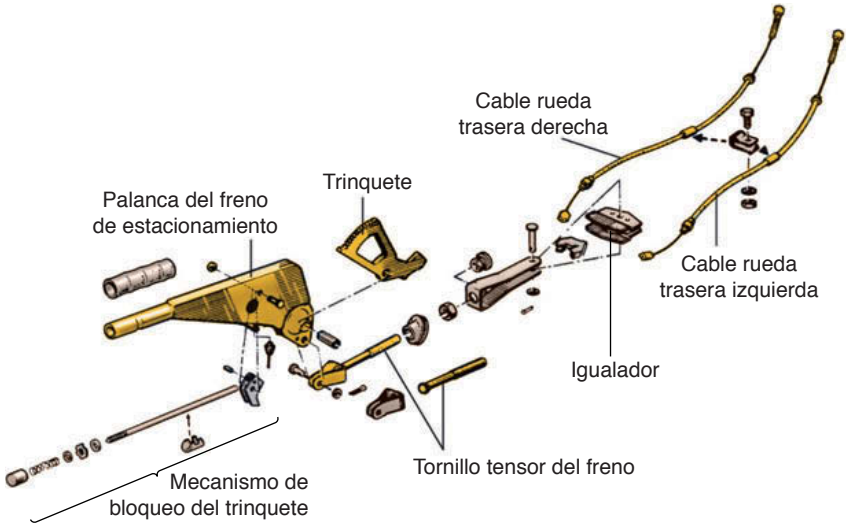
3.1. Constitución y funcionamiento

El sistema de accionamiento está formado por una palanca situada en el interior del vehículo (generalmente en un lateral del asiento del conductor) que tira de un tensor y un igualador. Este a su vez tira de un cable que se une a la palanca del mecanismo de freno.

Para que la palanca permanezca en la posición deseada, el sistema dispone de un mecanismo de trinquete que se desbloquea mediante un pulsador desde la palanca del freno de estacionamiento.



↑ **Figura 12.12.** Cables e igualador.



↑ **Figura 12.13.** Despiece del accionamiento por palanca y cable.

3.2. Reglaje del freno de estacionamiento mecánico

El reglaje del sistema se realiza mediante el dispositivo tensor que por medio de un sistema de regulación alarga o acorta la longitud del cable de accionamiento. Este dispositivo puede encontrarse en el interior o en el exterior del vehículo.

El tensado del mecanismo debe permitir que la rueda gire libremente cuando el freno no está accionado y que llegue a su tensión máxima cuando haya saltado aproximadamente el tercer o cuarto diente del trinquete.

↑ **Figura 12.14.** Reglaje del freno de estacionamiento mecánico

3.3. Diagnosis del freno de estacionamiento mecánico

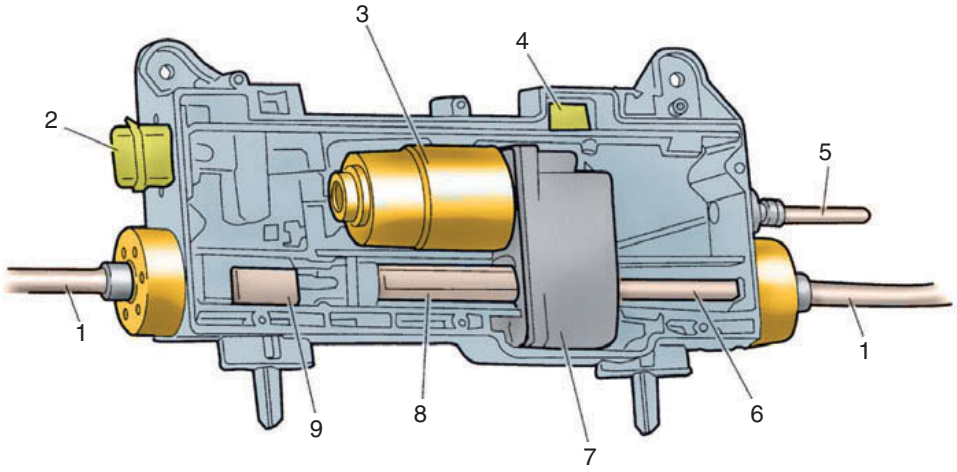
Las averías mas características de freno de estacionamiento mecánico se pueden simplificar en la siguiente tabla:

Síntoma o defecto	Causa	Reparación
El freno de estacionamiento no bloquea.	• Reglaje incorrecto. • El cable de mando está dañado o roto. • La conexión del cable de mando del freno esta defectuosa.	• Reglar. • Sustituir el cable. • Controlar la conexión.
El vehículo se queda frenado al quitar el freno de estacionamiento.	• Impedimentos en la carrera de retorno del cable. • El botón de desbloqueo de la palanca no retrocede.	• Quitar los impedimentos o sustituir el cable. • Desmontar y desbloquear o sustituir la palanca.

↑ **Tabla 12.1.** Tabla de averías del freno de estacionamiento mecánico.

4. Freno de estacionamiento eléctrico-electrónico con cable

El sistema de freno de estacionamiento eléctrico-electrónico supone una mejora en el confort del conductor y en la seguridad. La aplicación de la gestión electrónica permite aumentar las posibilidades del sistema. Por ejemplo, el sistema se activa automáticamente al parar el motor y quitar la llave de contacto.



1. Cables del freno de estacionamiento
2. Conexión eléctrica
3. Motor de corriente continua
4. Unidad de control del freno de estacionamiento
5. Cable de desbloqueo de emergencia
6. Eje estriado
7. Engranaje
8. Eje hueco
9. Sensor de fuerza

↑ **Figura 12.15.** Freno de estacionamiento eléctrico-electrónico con cable.

El sistema de freno de estacionamiento eléctrico-electrónico sustituye la palanca de accionamiento por un actuador eléctrico que tira automáticamente de los cables del accionamiento del freno de las ruedas traseras. El sistema funciona de forma manual con un interruptor que activa el circuito y frena el vehículo. Asimismo, el sistema cuenta con una función automática a través de la gestión electrónica y de los captadores.

Funcionamiento manual con el interruptor del cuadro de mandos

Al pulsar el interruptor, el actuador eléctrico tira del freno de estacionamiento que acciona los cables y frena el vehículo.

El actuador está montado sobre el eje trasero entre los cables del freno de estacionamiento. Está formado por un conjunto motor/engranaje, la unidad de control y los ejes; estriado y hueco. Estos ejes están conectados entre sí mediante una rosca y alojan un cable en cada uno de sus extremos exteriores. El cable de freno acoplado al eje hueco está apoyado de modo que puede girar.

El eje estriado está fijado radialmente en la carcasa.

El eje hueco puede girar en ambos sentidos movido por el motor-engranaje. Cuando el motor gira, el eje estriado se introduce o sale del eje hueco a través de la rosca. Los dos cables del freno se estiran o aflojan.

El eje hueco dispone de un sensor de fuerza que detecta la fuerza de tracción aplicada y transmite la información a la unidad de control del freno de estacionamiento.

La unidad de control dispone de un diagrama de fuerzas memorizado. Cuando recibe las señales de entrada, activa el motor de corriente continua en función de la fuerza de tracción. El sistema se puede desacoplar mecánicamente mediante un tirador de desbloqueo de emergencia.

Señales que recibe la unidad de control del freno de emergencia

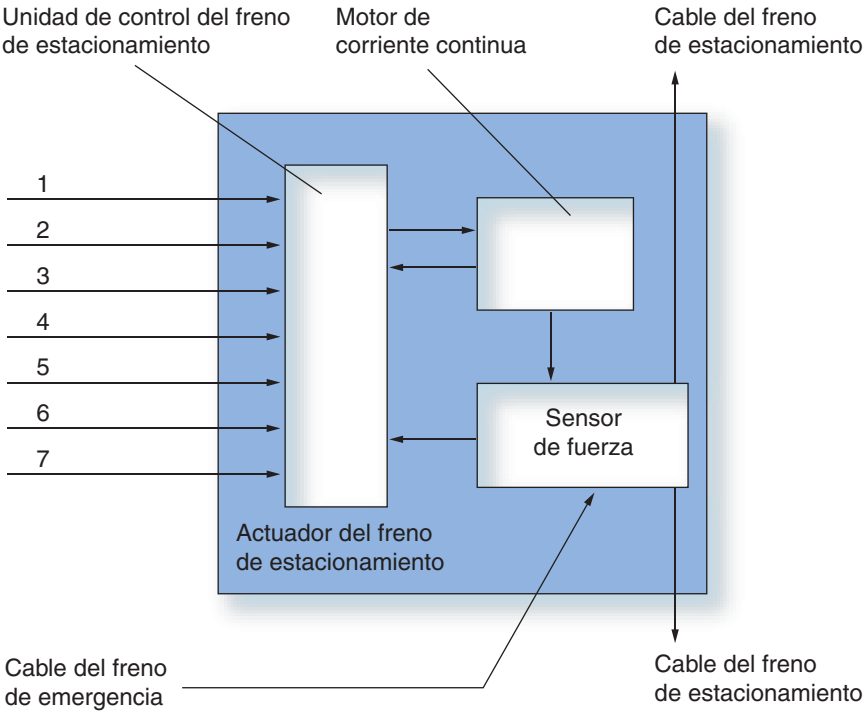
1. Tensión de batería (+)
2. Llave de contacto de encendido
3. Posición II de la cerradura de encendido
4. Interruptor de posición del pedal de embrague
5. CAN (velocidad del vehículo, interruptor de luz de freno, riesgo de bloqueo ABS)
6. Pulsador del freno de estacionamiento electrónico

Señales de salida de la unidad de control

Motor de accionamiento

CAN MS (diagnosis)

7. Estado del freno



↑ **Figura 12.16.** Diagrama de bloques del actuador del freno de estacionamiento.

5. Freno de estacionamiento electromecánico

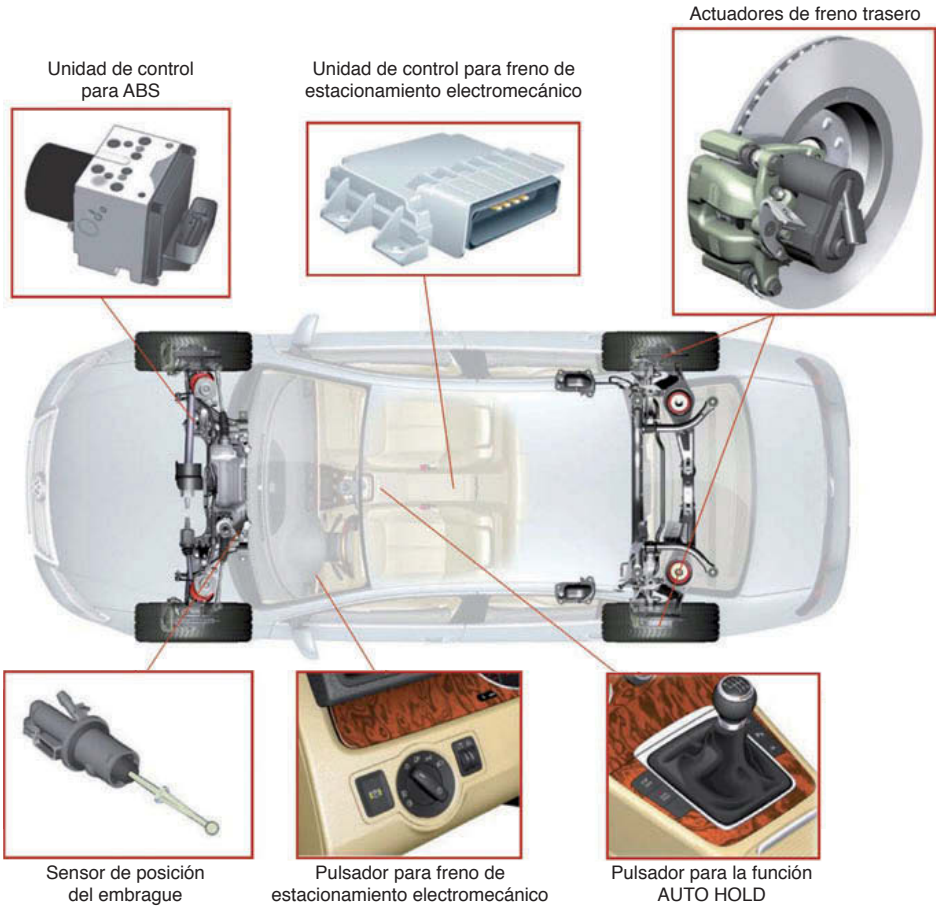
El freno de estacionamiento electromecánico se puede considerar como un freno inteligente, pues realiza la función de freno de estacionamiento, sin necesidad de cables, con una completa gestión electrónica de la función de freno.

El sistema emplea la red de datos del vehículo para la gestión electrónica y los elementos del sistema de freno a los que se le añade un motor de corriente continua, una reductora y un husillo para empujar el émbolo de frenado.

El freno electromecánico está diseñado para realizar su principal misión que es servir de freno de estacionamiento. Se acciona a voluntad del conductor con un pulsador y en situaciones en las que se le podría olvidar accionarlo al conductor, se acciona automáticamente igual que el freno de cables. Cuando el conductor para el motor y quita la llave de contacto el freno de estacionamiento electromecánico, se acciona automáticamente.

5.1. Estructura del freno de estacionamiento electromecánico

La estructura del freno de estacionamiento electromecánico se puede simplificar en el siguiente esquema:



↑ **Figura 12.18.** Estructura general del freno de estacionamiento electromecánico.

saber más

El freno de estacionamiento electromecánico recibe información de los módulos de control a través del CAN confort, CAN de instrumentación, CAN tracción (ESP) y CAN motor.

↑ **Figura 12.17.** Pulsador del freno de estacionamiento electromecánico.

5.2. Actuador de freno

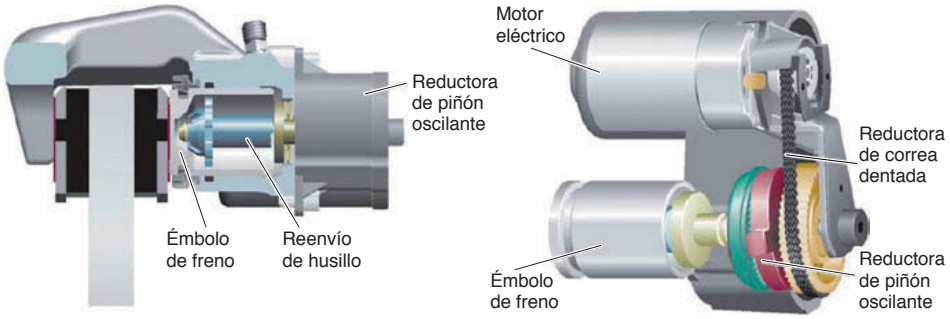
caso práctico inicial

El líquido de frenos del vehículo de Pedro se encuentra con un nivel bajo debido al desgaste de las pastillas de freno traseras.

El actuador de freno es una unidad electromecánica integrada en la pinza del freno que es capaz de presionar las pastillas de freno contra los discos tras accionar el freno de estacionamiento.

↑ **Figura 12.19.** Actuador de freno integrado en la pinza de freno.

Esta unidad está formada principalmente por un motor eléctrico, una reductora poliescalonada y el reenvío de husillo que transforma el movimiento giratorio en lineal.



↑ **Figura 12.20.** Sección del actuador de freno.

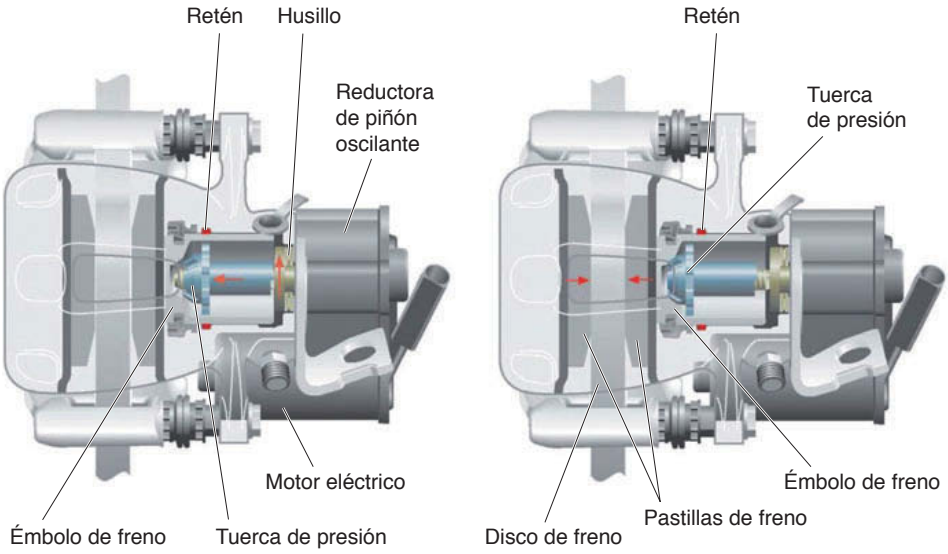
Funcionamiento de los actuadores de freno traseros

Funcionamiento electromecánico

Para cerrar el freno de estacionamiento, la unidad de control excita el motor eléctrico que acciona el husillo a través de las reductoras de correa dentada y de piñón oscilante. El giro del husillo hace que la tuerca de presión se desplace en avance a bordo de la rosca del husillo. La tuerca de presión apoya contra el émbolo de freno y lo oprime contra las pastillas. Por su parte, las pastillas oprimen contra el disco de freno. Esto hace que el retén se deforme en dirección hacia las pastillas. La presión provoca un aumento de la corriente absorbida por el motor eléctrico.

La unidad de control mide la absorción de corriente del motor eléctrico durante todo este ciclo operativo. Si la corriente absorbida sobrepasa un valor específico, la unidad de control interrumpe la alimentación de corriente hacia el motor eléctrico.

Para abrir el freno de estacionamiento se procede a girar la tuerca de presión en retorno a bordo del husillo. En el émbolo de freno se alivia la presión que tenía aplicada. Con la recuperación de la forma del retén y un eventual desequilibrio del disco de freno, se retrae el émbolo de freno. Las pastillas liberan el disco.

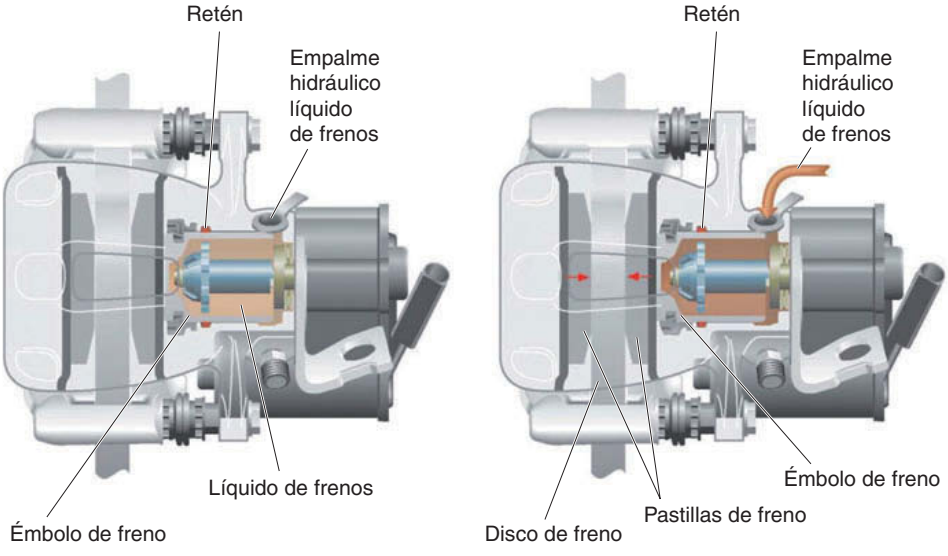


↑ **Figura 12.21.** Funcionamiento electromecánico.

Funcionamiento hidráulico

En una frenada dinámica de emergencia aumenta la presión del líquido de frenos a través de la tubería. Esta presión hace que el émbolo oprima contra las pastillas de freno que se apoyan contra el disco. Durante esa operación, el retén se deforma en dirección hacia las pastillas de freno.

Al término del ciclo de frenado desciende la presión del líquido de frenos y el émbolo experimenta un alivio de la carga a que estaba sometido. El émbolo es retraído en virtud de la recuperación de la forma del retén y un eventual desequilibrio del disco de freno, provocando que las pastillas se separen del disco.



↑ **Figura 12.22.** Funcionamiento hidráulico.

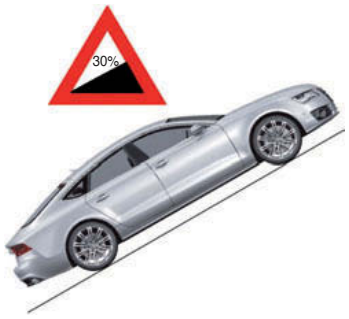
5.3. Funciones del freno de estacionamiento electromecánico

Las funciones adicionales que este tipo de freno realiza son:

- Función de freno de aparcamiento.
- Función dinámica de frenada de emergencia.
- Asistente dinámico en arrancada.
- Función AUTO HOLD.
- Modo para ITV.
- Detección de desgaste de las pastillas y corrección del juego.
- Desbloqueo de emergencia.

Función de freno de aparcamiento

El sistema permite aparcar de forma segura en pendientes de hasta un 30 por ciento. La apertura y el cierre del freno de estacionamiento electromecánico se lleva a cabo accionando el pulsador para freno de estacionamiento electromecánico.



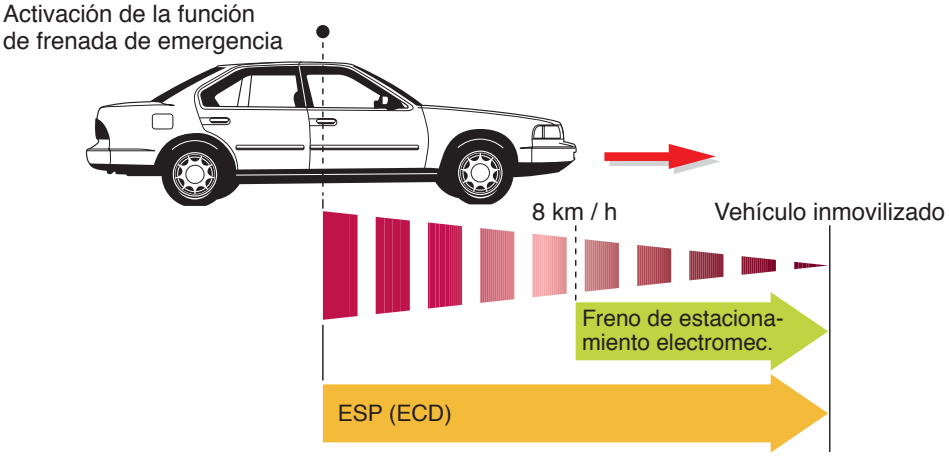
↑ **Figura 12.23.** Pendiente máxima para el aparcamiento de forma segura con el freno de estacionamiento electromecánico

Función dinámica de frenada de emergencia

Esta función permite frenar el vehículo ante la existencia de una avería o bloqueo del pedal de freno. Si esto ocurre, suena una señal acústica de aviso y se encienden las luces de freno.

Esta función produce una frenada con una retención máxima de 8 m/s mientras que el conmutador esté accionado.

Si el vehículo circula a velocidad superior a 8 km/h, la frenada se realiza con el circuito ESP. El sistema reduce el par del motor y deja este a ralentí. El grupo ESP genera presión de frenado en los cuatro frenos de las ruedas.



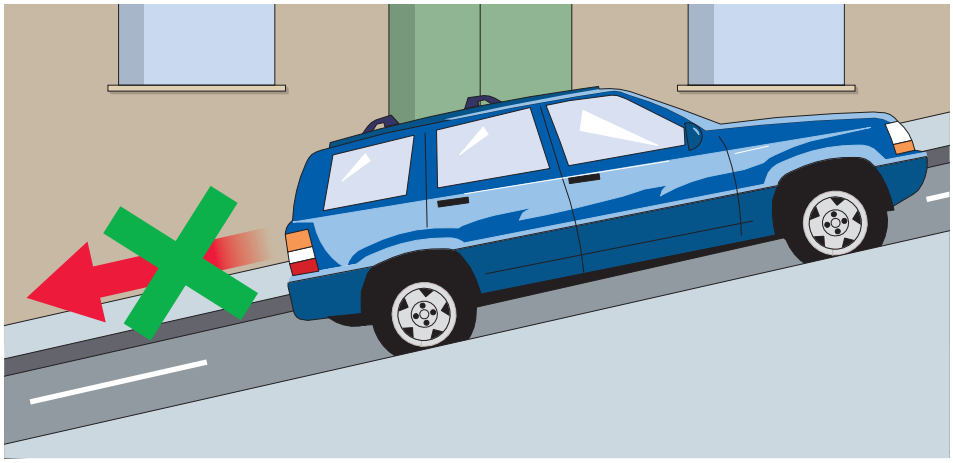
↑ **Figura 12.24.** Función dinámica del freno de emergencia.

Asistente dinámico en arrancada

La función de asistente dinámico en arrancada permite que se pueda iniciar la marcha del vehículo en pendientes, sin tirones, y sin que ruede en retroceso.

Esta función solo es operativa si la puerta del conductor está cerrada, el cinturón de seguridad del conductor está abrochado y el motor está en funcionamiento.

La unidad de control electrónica dispone de un sensor que mide el ángulo de inclinación del vehículo y parámetros como el par motor, la posición del acelerador, el accionamiento del pedal de embrague y la marcha de la caja de cambios para calcular el momento exacto de apertura del freno en el ciclo de arrancada.



↑ **Figura 12.25.** Función de asistente dinámico en arrancada.

Función AUTO HOLD

Consiste en una función de asistencia, que con ayuda del ABS/ESP, respalda al conductor si el vehículo está parado y en las fases de arrancada hacia adelante o marcha atrás. Para ello, la bomba hidráulica del sistema ABS/ESP realiza diferentes ciclos de carga mediante la apertura y cierre de sus válvulas.

↑ **Figura 12.26.** Pulsador de activación de la función AUTO-HOLD.

Para la activación de esta función, el conductor debe oprimir el pulsador para AUTO HOLD, el cual se ilumina y la confirma. Para la desactivación se debe oprimir nuevamente el pulsador y el testigo luminoso se apaga.

La función AUTO HOLD combina las siguientes funciones de asistencia:

Asistente en arrancada

Esta función asiste al conductor automatizando las operaciones de parada y arrancada en subidas. El sistema evita que el vehículo ruede involuntariamente hacia atrás.

Asistente para *stop and go*

Esta función permite mantener el vehículo parado durante trayectos cortos de arranque y parada sin que el conductor tenga que pisar el freno continuamente.

Aparcamiento automático

Con la función AUTO HOLD activada se activa automáticamente el freno de estacionamiento si se procede a parar el motor, abrir la puerta del conductor, desabrocharse el cinturón de seguridad o desconectar el encendido.

Modo para ITV

La revisión y comprobación del freno de estacionamiento del vehículo en la ITV, se realiza en un banco de freno de rodillo.

caso **práctico** inicial

El embolo de la pinza de freno del sistema de freno electromecánico no se puede retroceder manualmente, para esto se utiliza un equipo de diagnosis.

El modo de funcionamiento para ITV permite llevar a cabo una frenada dosificada en el frenómetro con el fin de comprobar el funcionamiento óptimo del sistema. Esta función se detecta de forma automática en los casos siguientes:

- Si está conectado el encendido.
- Si está seleccionada la función AUTO HOLD.
- Si las ruedas delanteras están paradas.
- Si las ruedas traseras giran, como mínimo durante 5 segundos, a una velocidad constante comprendida entre 2,5 y 9 km/h.

Una vez es accionado el pulsador para freno de estacionamiento electromecánico se aplica poco a poco la fuerza de tensado.

El comportamiento de cierre del freno se modifica por la unidad de control. Con cuatro ciclos consecutivos de accionamiento sobre el pulsador se desplaza el émbolo de freno a razón de una carrera definida, la fuerza de tensado del freno de estacionamiento aumenta de modo gradual.

El quinto ciclo de accionamiento de mando en el pulsador conduce a que se suelte el freno de estacionamiento electromecánico.

El modo para ITV termina si se cumplen las siguientes condiciones:

- Las ruedas delanteras giran a una velocidad superior a 0 km/h.
- Las ruedas traseras giran a una velocidad inferior a 2,5 km/h o superior a 9 km/h.
- El encendido está desconectado.

Detección de desgaste de las pastillas y corrección del juego

caso **práctico** inicial

Para sustituir las pastillas de freno en el sistema de freno de estacionamiento electromecánico, el equipo de diagnosis incorpora una función que abre al máximo el freno y hace que la tuerca de presión se desplace hasta su posición más retrasada sobre el husillo.

El tensado de cierre del freno se lleva a cabo con el equipo de diagnosis autoadaptando de forma automática la nueva posición de las pastillas de freno.

El sistema comprueba, cada 500 km aproximadamente y de forma automática el espesor de las pastillas. La medición se realiza cuando el vehículo se encuentra estacionado o parado.

Desbloqueo de emergencia

En caso de fallo, pérdida de la excitación eléctrica o si aparecen incidencias mecánicas en el funcionamiento de los componentes del freno de estacionamiento, es posible soltar mecánicamente el freno accionado.

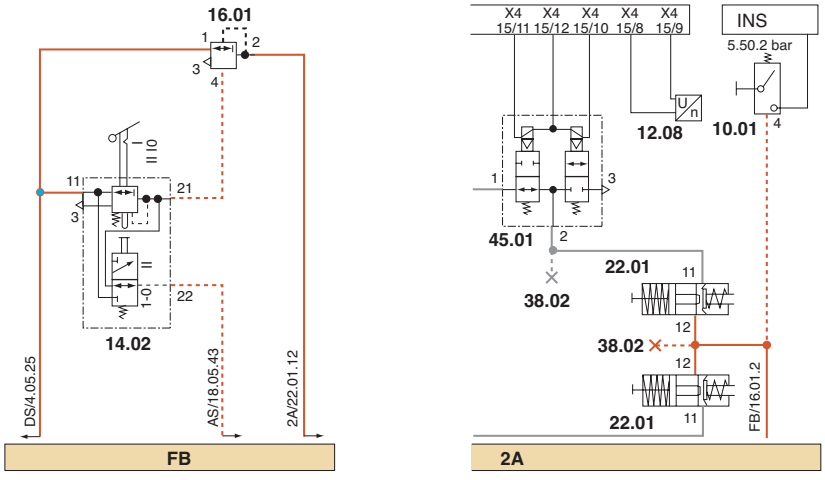
Para ello, se debe elevar el vehículo y desmontar la rueda afectada. Se retirará el actuador de la pinza de freno y se girará el husillo hasta que el freno quede suelto.

6. Freno de estacionamiento neumático

El freno de estacionamiento neumático suele aprovechar el circuito neumático del vehículo para el desbloqueo del freno de estacionamiento. Este tipo de freno se monta en vehículos industriales como por ejemplo camiones y autobuses.

↑ **Figura 12.27.** Palanca de accionamiento del freno de estacionamiento en el panel de mandos.

En la siguiente figura se puede ver un esquema neumático de un vehículo de la marca Mercedes Benz.

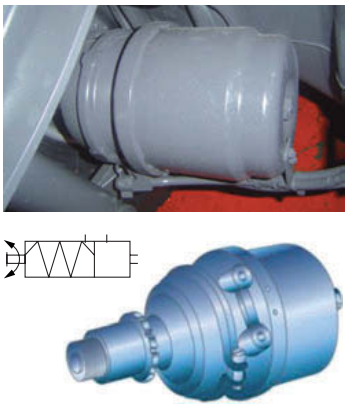


↑ **Figura 12.28.** Esquema neumático del circuito de freno de estacionamiento neumático.

El sistema está constituido básicamente por un mando neumático 14.02, una válvula de relé 16.01 y los cilindros combinados 22.01.

Con el circuito sin presión, el resorte empuja el mecanismo de accionamiento del tambor de freno y frena el camión.

Para desactivar y liberar el freno de estacionamiento, es necesario cambiar de posición la válvula de accionamiento 14.02. Esta válvula activa la válvula de relé 16.01, la cual deja pasar el aire a presión para accionar el cilindro y vencer la fuerza de su resorte.



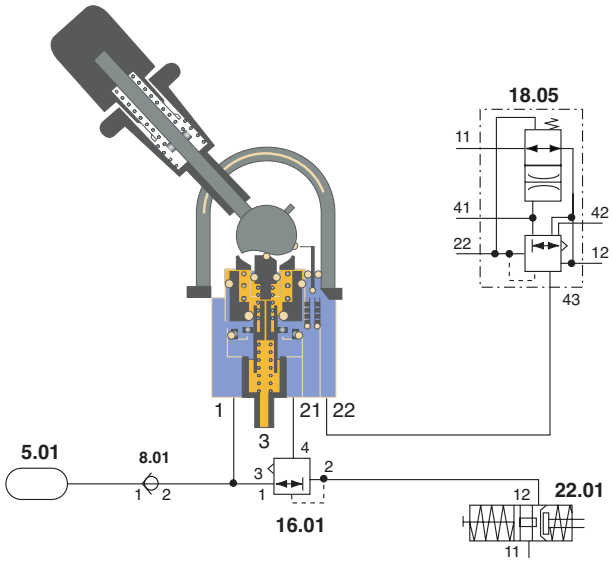
↑ **Figura 12.29.** Cilindro de frenos combinado.

↑ **Figura 12.30.** Válvula de freno de estacionamiento.

Este sistema actúa también como mecanismo de seguridad, de tal manera que si el camión no tiene presión de aire en el circuito de freno, por avería o por bajo rendimiento del compresor, el vehículo no se pueda desplazar.

El cilindro consta de dos partes: una membrana para el frenado de servicio y otra de resorte para el frenado de estacionamiento y emergencia en caso de avería en el sistema de frenos.

La válvula específica para el freno de estacionamiento se acciona desde el cuadro de mandos. Esta válvula (elemento 14.02 de la figura 12.31) tiene tres posiciones: 0, I y II. En la posición 0, el freno de estacionamiento se desactiva. La desactivación se realiza con presión de los cilindros combinados 22.01. Cuando los cilindros reciben presión por el conducto 12 (véase figura 12.31), comprimen el muelle y liberan el freno permitiendo que el cilindro combinado pueda frenar como freno de servicio. El aire a presión del freno de servicio entra por el conducto 11.



↑ **Figura 12.31.** Esquema neumático de la válvula de freno de estacionamiento.

Para conectar el freno de estacionamiento, se sitúa la palanca en la posición (I). La válvula 14.02 dispone de dos salidas, la salida 21 sirve para el eje trasero del camión y la salida 22, para alimentar la válvula 18.05, válvula de mando del freno del remolque (figura 12.31).

La salida 21 comanda la válvula de relé 16.01 (figura 12.31). Esta permite descargar de presión los cilindros combinados para frenar el vehículo. El sistema está diseñado como un sistema de seguridad; si el camión no tiene presión en el circuito neumático, presión de trabajo, no se puede desbloquear el freno de estacionamiento, ni iniciar la marcha. Y al contrario, si el circuito se queda sin presión, por una avería en el circuito, el freno de estacionamiento se activa y el camión se frena por efecto del muelle del cilindro combinado.

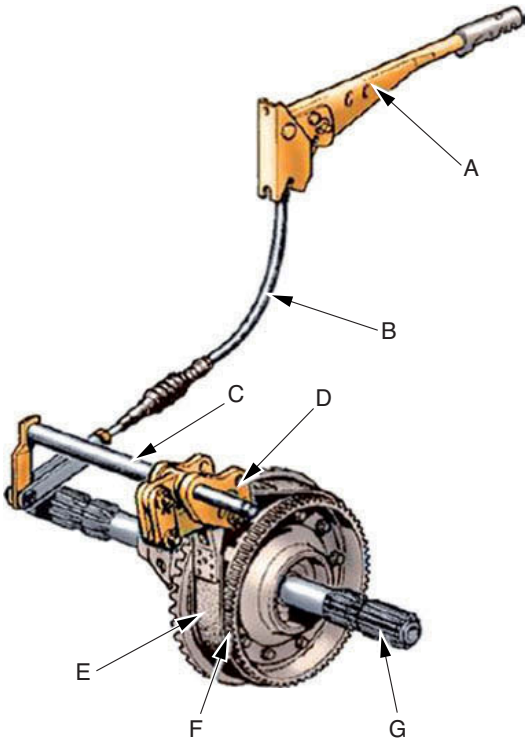
La posición II de la palanca de estacionamiento es obligatoria para su sistema de seguridad. Se activa para comprobar si la cabeza tractora puede frenar todo el conjunto (cabeza y remolque) sin frenar el remolque. El circuito en la posición II libera la presión del freno del remolque. De este modo se puede verificar que la cabeza tractora es capaz de frenar todo el conjunto en caso de fugas de aire en el freno del remolque. El freno de estacionamiento del remolque frena con presión; no dispone de cilindros combinados.

7. Freno de estacionamiento para vehículos agrícolas

En los vehículos agrícolas, el freno de estacionamiento bloquea el diferencial trasero para inmovilizar el vehículo.

Este freno consta de la palanca de freno (A), el cable (B), el dispositivo de anclaje (C), la cinta de freno (D) y la caja del diferencial con superficie frenante (E) (véase figura 12.32).

↑ **Figura 12.32.** Palanca del freno de estacionamiento de un vehículo agrícola.



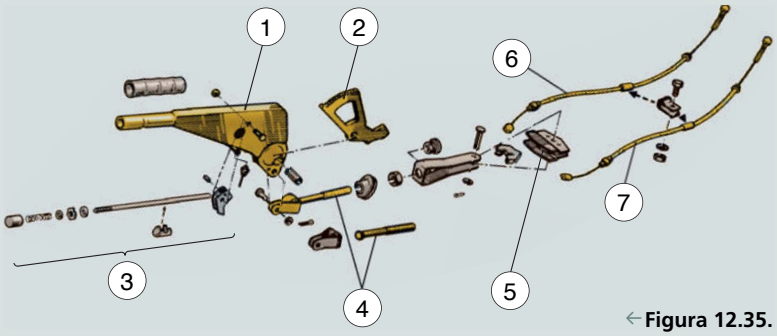
←**Figura 12.33.** Elementos del freno de estacionamiento de un tractor.

El efecto frenante se produce al accionar la palanca de freno (A) que hace girar la palanca (F) en relación con el anclaje. La cinta se contrae apretándose sobre la caja del diferencial y frenando este. El efecto de frenado se transmite hasta las ruedas traseras a través de los mandos finales (palieres).

←**Figura 12.34.** Freno de estacionamiento de cinta.

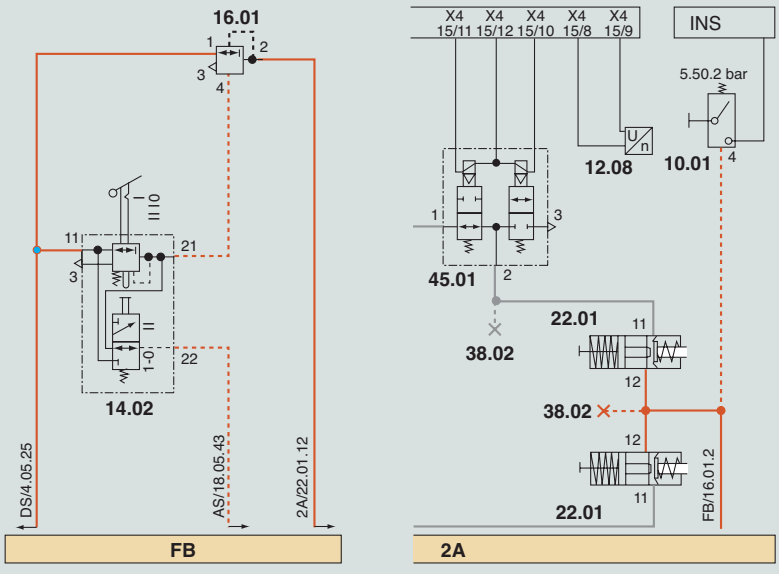
ACTIVIDADES FINALES

1. Explica cómo funciona la válvula del freno de estacionamiento neumático en sus distintas posiciones.
2. ¿Qué señales de entrada y de salida recibe la unidad de control del freno de emergencia en un sistema de freno de estacionamiento eléctrico-electrónico?
3. ¿En qué consiste el freno de tambor en disco?
4. Explica el funcionamiento del freno de estacionamiento eléctrico-electrónico con cable.
5. ¿Para qué sirve la función de asistente dinámico en arrancada en el freno de estacionamiento electromecánico?
6. Nombra en tu cuaderno los elementos del accionamiento mecánico del freno de estacionamiento.



← **Figura 12.35.**

7. ¿Qué funciones de asistencia combina la función AUTO HOLD en el freno de estacionamiento electromecánico?
8. Nombra en tu cuaderno los elementos del siguiente esquema neumático:
   - 14.02
   - 16.01
   - 22.01



↑ **Figura 12.36.** Esquema neumático del freno de estacionamiento neumático.

EVALÚA TUS CONOCIMIENTOS

Resuelve en tu cuaderno o bloc de notas

1. ¿En qué sistema de freno de estacionamiento las zapatas de freno frenan un disco de freno?

a. En el sistema de freno de disco.

b. En el sistema de freno de tambor en disco.

c. En el sistema de freno de tambor.

d. En el sistema de freno de electromecánico.

2. ¿Qué tipo de freno de estacionamiento es el más empleado en vehículos industriales pesados?

a. El freno neumático.

b. El freno eléctrico-electrónico.

c. El freno eléctrico con cables.

d. El freno con palanca manual y cables.

3. ¿Qué función tiene la posición II de la palanca del freno de estacionamiento neumático?

a. Es la posición de reposo de la palanca y del freno.

b. Es una posición de comprobación, verifica que la cabeza tractora frena todo el peso del remolque sin frenarse.

c. Es la posición de frenado de la cabeza tractora.

d. Es la posición de frenado de la cabeza tractora y del remolque.

4. El freno de estacionamiento electromecánico se monta…

a. En las pinzas de freno de las ruedas delanteras del vehículo.

b. En las pinzas de freno de las ruedas traseras del vehículo.

c. En el eje de transmisión del vehículo.

d. Ninguna de las anteriores respuestas es correcta.

5. Al accionar el mando del freno de estacionamiento, el circuito neumático:

a. Libera de presión los cilindros combinados y se frena por la fuerza del muelle.

b. Aumenta la presión en los cilindros combinados y se frena el vehículo.

c. Aumenta la presión en los cilindros de émbolos y se produce el frenado.

d. Aumenta la presión en los cilindros de membrana y se produce el frenado.

6. Verdadero o falso:

El freno de estacionamiento neumático suele aprovechar el circuito neumático del vehículo para el desbloqueo del freno de estacionamiento.

a. Verdadero.

b. Falso.

7. ¿Qué elemento permite que la palanca del freno de estacionamiento manual quede en la posición deseada por el conductor?

a. El tensor.

b. El igualador.

c. El trinquete.

d. Ninguna de las respuestas anteriores es correcta.

8. Verdadero o falso:

El freno de estacionamiento siempre actúa sobre las ruedas traseras del vehículo.

a. Verdadero.

b. Falso.

9. ¿Qué elemento utiliza el sistema de freno de estacionamiento eléctrico-electrónico para tirar de los cables del accionamiento del freno de las ruedas traseras?

a. Una palanca manual.

b. Un cilindro combinado.

c. Un actuador eléctrico.

d. Ninguna de las respuestas anteriores es correcta.

10. En el sistema de freno de estacionamiento neumático, ¿qué misión tiene la válvula de relé?

a. Cargar de presión los cilindros combinados para frenar el vehículo.

b. Descargar de presión los cilindros combinados para frenar el vehículo.

PRÁCTICA **PROFESIONAL**

HERRAMIENTAS

- Llave de estrella 12-13
- Galgas de espesores

MATERIAL

- Vehículo con este sistema de freno de estacionamiento

Ajuste del freno de estacionamiento mecánico (sistema de disco)

OBJETIVO

Ajustar el freno de estacionamiento mecánico de un vehículo con frenos traseros de disco.

PRECAUCIONES

Una vez ajustado, soltar el freno y comprobar que las dos ruedas giran y quedan frenadas.

DESARROLLO

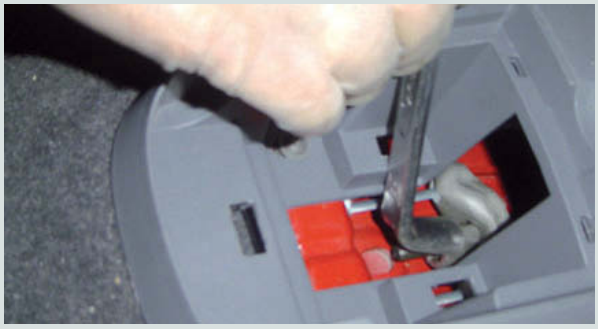
Para llevar a cabo esta práctica se seguirá el siguiente proceso:

1. Desmontar el cenicero de la consola central de los pasajeros del asiento trasero (véase la figura 12.37).
2. El ajuste de los cables del freno de mano del vehículo se realiza en el punto de unión de los cables con el accionamiento de la palanca del freno de estacionamiento. El dispositivo tensor en este caso dispone de una tuerca autofrenante (véase la figura 12.38).

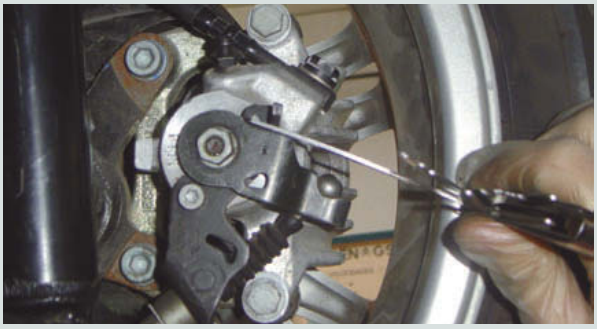
↑ **Figura 12.37.** Extracción del cenicero.

↑ **Figura 12.38.** Dispositivo de regulación.

3. Empleando una llave de estrella acodada, girar la tuerca hasta que la palanca, en el tercer o cuarto diente del trinquete, deje frenado el vehículo (véase la figura 12.39).
4. Elevar el vehículo y medir la cota de separación en las dos pinzas traseras (véase la figura 12.40). En el modelo de la práctica debe haber una separación de 1.5 milímetros. Esta cota se mide con unas galgas de espesores.



↑ **Figura 12.39.** Tensado de los cables del freno.



↑ **Figura 12.40.** Medición de la cota de ajuste.

Ajuste del freno de estacionamiento mecánico (sistema de tambor en disco)

HERRAMIENTAS

- Llave de cruz o o pistola de impacto
- Destornillador plano
- Llave fija 12-13

MATERIAL

- Vehículo con este sistema de freno de estacionamiento
- Elevador

OBJETIVO

Ajustar el freno de estacionamiento mecánico de un vehículo con freno trasero de disco y freno de estacionamiento de tambor en el interior del disco.

PRECAUCIONES

Una vez ajustado, soltar el freno y comprobar que las dos ruedas giran y quedan frenadas.

DESARROLLO

Para llevar a cabo esta práctica se situará el vehículo en un elevador y se seguirá el siguiente proceso:

1. Desmontar la rueda trasera extrayendo con la llave de impacto o llave de cruz los tornillos de la misma.
2. Con el sistema de freno a la vista, extraer el tapón de registro para el dispositivo de ajuste (véase figura 12.41).
3. Girar el disco hasta situar el registro en la posición donde se vea el dispositivo de ajuste (véase figura 12.42).

↑ **Figura 12.41.** Extracción del tapón de registro.

↑ **Figura 12.42.** Dispositivo de ajuste de las zapatas.

4. Con un destornillador plano girar el dispositivo de ajuste hasta que se aprecie que las de zapatas rozan contra el disco (véase figura 12.43). Ajustar hasta que no exista rozamiento girando el disco.
5. El ajuste de los cables del freno de mano del vehículo se realiza en el punto de unión de los cables con el accionamiento de la palanca del freno de estacionamiento. El dispositivo tensor en este caso dispone de una tuerca autofrenante (véase la figura 12.44). Girar la tuerca con la llave fija hasta que se quede la palanca en la posición indicada en el manual de reparaciones.

↑ **Figura 12.43.** Ajuste de las zapatas con el destornillador.

↑ **Figura 12.44.** Tornillo de ajuste de los cables de tensado de las zapatas.

MUNDO **TÉCNICO**

SKF presenta el freno de estacionamiento electrónico para vehículos agrícolas

Con motivo de SIMA 2009, una de las ferias internacionales de maquinaria agrícola más importantes, SKF presentó una innovación tecnológica: el freno de estacionamiento electrónico para tractores y vehículos agrícolas.

En el transcurso de la feria se presentó el nuevo tractor T7000 Auto Command de New Holland Agriculture, equipado con SKF Electronic Parking Brake (freno de estacionamiento electrónico). El sistema elegido por New Holland es una solución híbrida basada en un freno de emergencia mecánico y un actuador electromecánico inteligente patentado por SKF que actúa sobre el freno de estacionamiento.

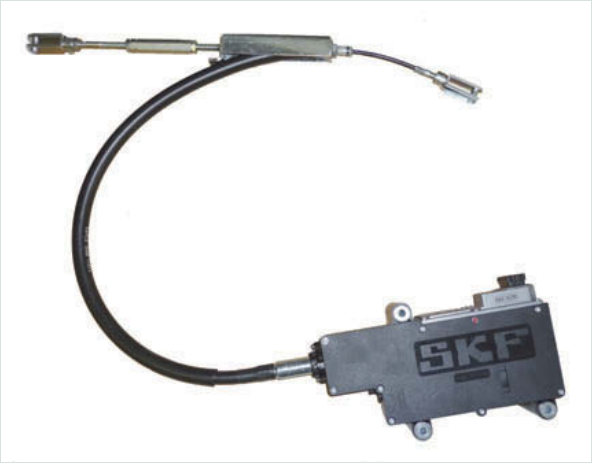
SKF Electronic Parking Brake es más que un sistema de frenado. Se ha diseñado para garantizar una alta fiabilidad para los operarios y para asistir al conductor en las diferentes condiciones de conducción, gracias a funciones inteligentes como Automatic Apply, que funciona cuando el contacto está quitado y el conductor abandona su asiento; Hill Holder y Drive Away, que evitan al conductor tener que ejercer una fuerza considerable para accionar el freno de mano, lo cual contribuye a una mayor comodidad de conducción, incluso en terreno montañoso.

Además, el freno SKF Electronic Parking Brake ofrece ventajas medioambientales, gracias a la reducción del consumo energético, que continúa la larga tradición de preocupación por el medio ambiente de SKF.

SKF Electronic Parking Brake ha sido desarrollado en SKF Italia, donde la primera línea de producción comenzó a funcionar en septiembre de 2008.

Desde la década de 1970, SKF ha desempeñado un papel pionero en mecatrónica, con varios proyectos relacionados con la aeronáutica en los que suministró los primeros sistemas fly-by-wire para el mando de gases de Airbus en los años ochenta. Más recientemente, SKF ha emprendido algunos proyectos importantes, entre los que se incluyen los coches conceptuales con drive-by-wire Filo y Novanta.

Fuente: <www.skf.com>



↑ **Figura 12.45.** Actuador electromecánico.

↑ **Figura 12.46.** Montaje del sistema en el tractor.

EN RESUMEN

EL FRENO DE ESTACIONAMIENTO → El sistema de freno de estacionamiento asume la tercera función de frenado. Debe ser capaz de mantener el vehículo detenido, aún en pendientes y en ausencia del conductor

- **Disposición del freno de estacionamiento**
  - Sobre los frenos
    - Freno de estacionamiento en sistema de freno de disco
      - Freno de estacionamiento en el disco
      - Freno de tambor en disco
    - Freno de estacionamiento en freno de tambor
  - En la transmisión
- **Freno de estacionamiento mecánico**
  - Mando manual compuesto por palancas y varillas o cables → Actúa sobre:
    - Sistema de freno de disco
    - Sistema de freno de tambor
  - En la transmisión
- **Freno de estacionamiento eléctrico electrónico con cable** → Sustituye la palanca de accionamiento por un actuador eléctrico que tira automáticamente de los cables del accionamiento del freno
- **Freno de estacionamiento electromecánico** → Al accionarse el freno de estacionamiento un actuador electromecánico gestionado electrónicamente actúa sobre las pastillas de freno → Otras funciones:
  - Función de freno de aparcamiento
  - Función dinámica de frenada de emergencia
  - Asistente dinámico en arrancada
  - Función AUTO HOLD
  - Modo para ITV
- **Freno de estacionamiento neumático** → Se utiliza en vehículos industriales aprovechando el sistema neumático → La presión neumática desbloquea el accionamiento del cilindro combinado que acciona el freno
- **Freno de estacionamiento para vehículos agrícolas** → Freno de cinta → Aplicado sobre el diferencial

entra en internet

1. Busca en internet vehículos que monten de serie el freno de estacionamiento electromecánico.

SOLUCIONES

EVALÚA TUS CONOCIMIENTOS

UNIDADES	RESPUESTAS CORRECTAS									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	c	a	d	b	a	d	c	a	a	b
2	d	a	a	c	b	c	b	c		
3	b	c	a	b	d	d	b	d	a	d
4	d	b	d	c	a	c	d	b	a	b
5	b	a	a	d	d	d	b	d	b	a
6	a	c	d	d	a	b	b	d		
7	d	a	d	a	b	d	d	a	a	b
8	d	b	a	c	a	b	a	c	d	c
9	b	c	a	c	b	d	a	b	c	a
10	d	b	a	c	b	b	a	d	d	b
11	d	b	a	a	b	b	d	b	c	d
12	b	a	b	b	a	a	c	b	c	b

Edición: Javier Ablanque

Diseño de cubierta: Paso de Zebra

Fotocomposición, maquetación y realización de gráficos: J.B. Estudio Gráfico y Editorial, S.L.

Fotografías: Audi, autores, Ford España S.A., Hyundai, Iveco, John Deere, Mercedes Benz, Robert-Bosch GmbH, SEAT, Volkswagen y archivo Editex

Dibujos: J.B. Estudio Gráfico y Editorial, S.L.

Preimpresión: José Ciria

Producción editorial: Francisco Antón

Dirección de producción: Santiago Agudo

Dirección editorial: Carlos Rodríguez

Queremos mostrar nuestro agradecimiento a: Amadeo Villar, José Antonio Romero, Marcos e Ignacio de Turismos Villar (Volkswagen-Audi-Skoda); Aitor Berges, David, Agustín y Vicente del Rincón de Euromaster; Francisco Rovira, Miguel Ángel Rovira; Jesús Garrido, Alejandro, Raúl, Pascual y Juan Donate de Talleres Garrido (Iveco); Carlos Pascual y Manuel Plaza (Plaza competición); Miguel Garrote (talleres Villa Lain); Daniel Monedero y Sebastián Toledo de Autoprima (Mercedes); Fernando Gómez y Carlos Moriana (Autovillar); José María Moya, Diego, Oscar, Julio y José Luis García de Bermoya (John Deere); Fernando Solé, Felix, Daniel y Ángel Hernández de Autos Marcos (Peugeot); Centro de capacitación Ford España S.A.; IES Pedro Mercedes (Cuenca); IES Jorge Manrique (Motilla del Palancar – Cuenca).

Editorial Editex, S. A. ha puesto todos los medios a su alcance para reconocer en citas y referencias los eventuales derechos de terceros y cumplir todos los requisitos establecidos por la Ley de Propiedad Intelectual. Por las posibles omisiones o errores, se excusa anticipadamente y está dispuesta a introducir las correcciones precisas en posteriores ediciones o reimpresiones de esta obra.

El presente material didáctico ha sido creado por iniciativa y bajo la coordinación de **Editorial Editex, S. A.**, conforme a su propio proyecto editorial.

© Esteban José Domínguez Soriano
Julián Ferrer Ruiz

© Editorial Editex, S. A.

Vía Dos Castillas, 33. C.E. Ática 7, edificio 3, planta 3ª, oficina B
28224 Pozuelo de Alarcón (Madrid)
ISBN papel: 978-84-9003-291-6
ISBN eBook: 978-84-9003-370-8
ISBN LED: 978-84-9003-369-2
Depósito Legal: M-9806-2012
Imprime: Orymu
Ruiz de Alda, 1-3. Polígono Industrial La Estación
28320 Pinto. Madrid
Impreso en España - Printed in Spain

Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra solo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley. Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos, www.cedro.org) si necesita fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra.